



**SKRIPSI - ME 141501**

**ANALISA GETARAN PADA KAPAL SAR  
(*SEARCH AND RESCUE*) DENGAN MATERIAL  
HDPE (*HIGH DENSITY POLYETHYLENE*)**

**Riskha Ariskha Arisandhi  
NRP. 4213 106 004**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Agoes Santoso M.Sc., M.Phil.  
Irfan Syarif Arief, ST., MT.**

**Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**



**FINAL PROJECT - ME 141501**

**VIBRATION ANALYSIS IN SAR (SEARCH AND  
RESCUE) BOAT USING HDPE (HIGH DENSITY  
POLYETHYLENE) MATERIAL**

**Riskha Ariskha Arisandhi  
NRP. 4213 106 004**

**Supervisor  
Ir. Agoes Santoso M.Sc.,M.Phil.  
Irfan Syarif Arief, ST., MT.**

**Departement of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISA GETARAN PADA KAPAL SAR (*SEARCH AND RESCUE*) DENGAN MATERIAL HDPE (*HIGH DENSITY POLYETHYLENE*)**

#### **SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada Bidang Studi *Marine Manufacture And Design* (MMD)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :

**RISKHA ARISKHA ARISANDHI**  
**NRP. 4213 106 004**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi :

1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil.

2. Irfan Syarif Arief, ST, MT.

SURABAYA  
Januari, 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA GETARAN PADA KAPAL SAR (*SEARCH AND RESCUE*) DENGAN MATERIAL HDPE (*HIGH DENSITY POLYETHYLENE*)

### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada Bidang Studi *Marine Manufacture And Design* (MMD)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RISKHA ARISKHA ARISANDHI**

**NRP. 4213 106 004**

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



SURABAYA  
Januari, 2016

## **Analisa Getaran Pada Kapal SAR (*Search And Rescue*) Dengan Material HDPE (*High Density Polyethylene*)**

**Nama Mahasiswa** : Riskha Ariskha Arisandhi  
**NRP** : 4213 106 004  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.  
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.

### **ABSTRAK**

Polietilena berdensitas tinggi adalah polietilena termoplastik yang terbuat dari minyak bumi dengan density sebesar  $0,950 \text{ ton/m}^3$ . Untuk 1 kg HDPE membutuhkan 1,75 kg minyak bumi (sebagai energi dan bahan baku). Karena sifatnya yang keras, kuat, tahan terhadap air, serta mampu bertahan pada temperatur tinggi ( $120^\circ\text{C}$ ) dan rendah minus  $40^\circ\text{C}$ , HDPE dapat digunakan untuk pembuatan kapal *boat*. Dalam pengoperasiannya, salah satu yang menjadi kendala kapal dengan material HDPE adalah faktor kenyamanan penumpang. Akibat putaran mesin pada saat kapal *rescue boat* beroperasi menyebabkan getaran pada kapal.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah menganalisa getaran pada kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*). Analisa dilakukan dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk mengetahui deformasi dan reaksi harmonik (*equivalent stress*) serta mengetahui bentuk *frequency response* dari kapal HDPE. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa deformasi terbesar terjadi pada kecepatan 40 knots sebesar  $0,0032847 \text{ m}$ . Kapal mengalami tegangan terbesar pada bagian bawah lambung kapal yaitu sebesar  $21081 \text{ Pa}$  dengan pembebanan sebesar  $12741,9 \text{ Pa}$ .

**Kata Kunci:** Kapal SAR, HDPE, Getaran, CFD, *Equivalent Stress*, Reaksi Harmonik

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## ***Vibration Analysis in SAR (Search And Rescue) Boat Using HDPE (High Density Polyethylene) Material***

***Name*** : Riskha Ariskha Arisandhi  
***NRP*** : 4213 106 004  
***Department*** : Marine Engineering  
***Supervisor*** : 1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.  
2. Irfan Syarif Arief, ST., MT.

### ***ABSTRACT***

*High density polyethylene is polyethylene thermoplastic which made from petroleum with density of 0.950 tons / m<sup>3</sup>. For 1 kg of HDPE requires 1.75 kg of oil (for energy and raw materials). Because the material too hard, strong, water resistant, and able to withstand high temperatures (120°C) and low temperature until minus 40° C, so HDPE can be used for boat. In operation, one of the constraints ship with HDPE material is passenger comfort factor. Due to engine speed at the time of the rescue boat operates causing vibrations in the ship.*

*The purpose of this final project was to analyzed the vibration of the SAR (Search And Rescue) boat using HDPE (high density polyethylene) material. Analysis using CFD (Computational Fluid Dynamics) to determine the deformation and harmonic response (equivalent stress), and determine the shape of the HDPE boat frequency response. Results from this study indicated that the greatest deformation occurs at a speed of 40 knots with total deformation is 0.0032847 m. The greatest stress of the boat on the bottom hull is 21081 Pa with force 12741,9 Pa.*

***Keywords : SAR ship, HDPE, Vibration, CFD, Equivalent Stress, Harmonic Response.***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## KATA PENGANTAR

Alhamdu lillahi robbil‘alamin, dengan mengucapkan segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **ANALISA GETARAN PADA KAPAL SAR (*SEARCH AND RESCUE*) DENGAN MATERIAL HDPE (*HIGH DENSITY POLYETHYLENE*)** “ dengan baik dan tepat waktu.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan hambatan, dan masih jauh dari kata sempurna. Namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan hidayah-Nya dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua penulis, Suparman dan Sudarmini yang tiada henti memberikan doa dan dukungan baik materiil maupun spiritual untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Kakak penulis beserta keluarga besar penulis yang memberikan semangat dan doa.
4. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc.,M.Phil., selaku dosen pembimbing pertama yang senantiasa meluangkan waktu untuk bimbingan skripsi dan banyak membantu serta memberikan saran dalam proses pelaksanaan skripsi ini.
5. Bapak Irfan Syarif Arief, ST., MT., selaku dosen pembimbing kedua dan dosen wali penulis yang senantiasa meluangkan waktu untuk bimbingan skripsi dan banyak membantu serta memberikan saran dalam proses pelaksanaan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng M. Badrus Zaman ST.,MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

7. Bapak Dr. Eng Trika Pitana, ST.,M.Sc., selaku koordinator skripsi.
8. Semua mahasiswa Lintas Jalur Genap angkatan 2013, member lab MMD dan semua rekan-rekan penulis yang telah memberikan dukungan dan doa selama proses pengerjaan skripsi.
9. Mas Pandika dan mas Galuh yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu dan mengajari software kepada penulis.

Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 11 Januari 2016  
Penulis

Riskha Ariskha Arisandhi

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ASTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penulisan .....	3
1.5. Manfaat Penulisan .....	3
<b>BAB II.....</b>	<b>5</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Pengertian HDPE (High Density Polyethylene).....	5
2.2. Pengertian Getaran.....	7
2.3. Terminologi Getaran.....	11
2.4. Gerak Harmonik .....	12
2.5. Jenis Getaran.....	13
2.6. Konsep Getaran dan Perambatannya .....	18
2.6.1. Sistem Satu Derajat Kebebasan.....	19
2.6.2. Sistem Dua Derajat Kebebasan .....	20
2.6.3. Sistem Dengan Banyak Derajat Kebebasan ..	21
2.7. Fenomena Springing dan Resonansi.....	22
2.8. Redaman .....	23
2.9. Sistem Tak Teredam .....	24
2.10. Macam – Macam Getaran di Kapal .....	24
2.11. Getaran Pada Sistem Propulsi .....	26

2.12.	Karakteristik Getaran .....	27
2.12.1.	Frekuensi Getaran .....	27
2.12.2.	Perpindahan Getaran ( <i>Vibration Displacement</i> ).....	28
2.12.3.	Kecepatan Getaran ( <i>Vibration Velocity</i> )... ..	28
2.12.4.	Phase Getaran .....	28
2.13.	Sumber Getaran Kapal .....	29
2.14.	Metode Mengurangi Getaran .....	30
2.15.	Faktor yang Mempengaruhi Frekuensi .....	32
2.16.	Aturan Biro Klasifikasi .....	33
2.17.	Finite Element Method (FEM) Analysis.....	34
<b>BAB III</b>	.....	<b>37</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	.....	<b>37</b>
3.1.	Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	37
3.2.	Studi Literatur .....	38
3.3.	Pengumpulan Data.....	39
3.4.	Perancangan 3D Lambung Kapal .....	41
3.5.	Simulasi Model Dengan CFD.....	41
3.6.	Analisa Hasil Pemodelan .....	42
3.7.	Kesimpulan dan Saran .....	42
<b>BAB IV</b>	.....	<b>45</b>
<b>ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>45</b>
4.1.	Perancangan 3D Lambung Kapal .....	45
4.2.	Export File Maxsurf ke Solidworks.....	48
4.3.	Penambahan Ketebalan Pelat.....	49
4.4.	Proses Meshing Kapal .....	51
4.5.	Analisa Aliran Fluida Menggunakan CFD .....	52
4.6.	Hasil Getaran dan Reaksi Harmonik dengan CFD .....	59
4.7.	Bentuk <i>Frequency Response</i> dengan Variasi Kecepatan Kapal.....	69
4.8.	Hasil Analisa Kapal dengan Material Steel .....	74

4.9. Perhitungan Getaran .....	76
<b>BAB V .....</b>	<b>79</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>79</b>
5.1. Kesimpulan .....	79
5.2. Saran .....	80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Pengerjaan Kapal HDPE.....	6
Gambar 2. 2 Skema sistem vibrasi .....	8
Gambar 2. 3 Model getaran pada lambung kapal.....	10
Gambar 2. 4 Model getaran bebas 1 DOF tanpa redaman .	13
Gambar 2. 5 Getaran paksa dengan peredam .....	18
Gambar 2. 6 Model linier sistem satu derajat kebebasan ...	19
Gambar 2. 7 contoh sistem dua derajat kebebasan.....	20
Gambar 2. 8 Getaran bebas teredam karena kekentalan ....	24
Gambar 2. 9 Jarak antara titik berat G dan M .....	26
Gambar 2. 10 Model matematis getaran longitudinal sistem propulsi.....	27
Gambar 2. 11 Contoh pengukuran phase getaran.....	29
Gambar 3.1 Rencana Umum Kapal HDPE .....	40
Gambar 3.2 Model tiga dimensi kapal .....	41
Gambar 3.3 Diagram alir metodologi penelitian.....	43
Gambar 4.1 Bentuk kapal dengan software maxsurf pro ...	46
Gambar 4.2 <i>sheer plan</i> kapal dengan software maxsurf ....	46
Gambar 4.3 Bentuk Kapal Tampak Samping ( <i>sheer plan</i> )	47
Gambar 4.4 <i>Body plan</i> kapal dengan software maxsurf.....	47
Gambar 4.5 Bentuk Kapal Tampak Depan ( <i>body plan</i> ).....	47
Gambar 4.6 <i>Parametric transformation</i> dari maxsurf.....	48
Gambar 4.7 Export File Bentuk Iges.....	49
Gambar 4.8 Mass Properties kapal HDPE .....	50
Gambar 4.9 Proses meshing pada CFD .....	51
Gambar 4.10 Detail gambar 4.10 .....	51
Gambar 4.11 Grafik perbandingan Kecepatan Kapal Vs Force.....	54
Gambar 4.12 grafik momentum and mass pada kecepatan 5 knots .....	55

Gambar 4.13 grafik momentum and mass pada kecepatan 10 knots .....	56
Gambar 4.14 grafik momentum and mass pada kecepatan 15 knots .....	56
Gambar 4.15 grafik momentum and mass pada kecepatan 20 knots .....	57
Gambar 4.16 grafik momentum and mass pada kecepatan 25 knots .....	57
Gambar 4.17 grafik momentum and mass pada kecepatan 30 knots .....	58
Gambar 4.18 grafik momentum and mass pada kecepatan 35 knots .....	58
Gambar 4.19 grafik momentum and mass pada kecepatan 40 knots .....	59
Gambar 4.20 deformasi pada kecepatan 5 knots .....	60
Gambar 4.21 deformasi pada kecepatan 10 knots .....	60
Gambar 4.22 deformasi pada kecepatan 15 knots .....	61
Gambar 4.23 deformasi pada kecepatan 20 knots .....	61
Gambar 4.24 deformasi pada kecepatan 25 knots .....	62
Gambar 4.25 deformasi pada kecepatan 30 knots .....	62
Gambar 4.26 deformasi pada kecepatan 35 knots .....	63
Gambar 4.27 deformasi pada kecepatan 40 knots .....	63
Gambar 4.28 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 5 knots ....	65
Gambar 4.29 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 10 knots ...	65
Gambar 4.30 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 15 knots ...	66
Gambar 4.31 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 20 knots ...	66
Gambar 4.32 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 25 knots ...	67
Gambar 4.33 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 30 knots ...	67
Gambar 4.34 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 35 knots ...	68
Gambar 4.35 <i>equivalent stress</i> pada kecepatan 5 knots .....	68
Gambar 4.36 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 5 knots .....	70



Gambar 4.37 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 10 knots	70
Gambar 4.38 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 15 knots	71
Gambar 4.39 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 20 knots	71
Gambar 4.40 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 25 knots	72
Gambar 4.41 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 30 knots	72
Gambar 4.42 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 35 knots	73
Gambar 4.43 <i>frequency response</i> variasi kecepatan 40 knots	73
Gambar 4.44 deformasi pada kapal dengan material <i>steel</i>	73
Gambar 4.45 <i>equivalent stress</i> pada kapal dengan material steel	73

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Vibration</i> limit yang diizinkan ABS.....	33
Tabel 2. 2 Accepting criteria diizinkan DNV.....	34
Tabel 4.1 <i>force</i> pada kecepatan 5 knots dan 10 knots.....	53
Tabel 4.2 <i>force</i> pada kecepatan 15 knots dan 20 knots.....	54
Tabel 4.3 <i>force</i> pada kecepatan 25 knots dan 30 knots.....	54
Tabel 4.4 <i>force</i> pada kecepatan 35 knots dan 40 knots.....	55

“halaman ini sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah maritim. Indonesia terletak diantara dua samudera yaitu samudera Hindia dan samudera Pasifik, dimana wilayah perairannya memiliki karakteristik laut dengan gelombang tinggi dan kondisi cuaca yang buruk terutama pada musim – musim tertentu. Dari tahun ke tahun, angka kecelakaan didunia kemaritiman terus meningkat. Berdasarkan data yang diperoleh dari Direktorat Operasi dan Pelatihan BASARNAS, untuk kecelakaan yang terjadi pada tahun 2009 sebanyak 89 kejadian, tahun 2010 sebanyak 153 kejadian, tahun 2011 meningkat menjadi 322 kejadian, tahun 2012 meningkat menjadi 460 kejadian, pada tahun 2013 mencapai 617 kejadian. Sehubungan dengan hal tersebut, maka BASARNAS berupaya untuk meningkatkan sarana dan prasarana dalam dunia kemaritiman, yaitu dengan menambah jumlah kapal SAR (*Search And Rescue*).

Kapal SAR merupakan jenis kapal rescue boat atau kapal penyelamat yang digunakan untuk mengangkut penumpang korban kecelakaan dilaut. Berdasarkan data dari BASARNAS, pada saat ini Indonesia memiliki kapal SAR sebanyak 42 unit. Salah satu material yang digunakan untuk membuat kapal rescue boat yaitu HDPE (*High Density Polyethylene*). Polietilena berdensitas tinggi (*High Density Polyethylene*) adalah polietilena termoplastik yang terbuat dari minyak bumi dengan density sebesar 0,950 ton/m<sup>3</sup>. Untuk 1 kg HDPE membutuhkan 1,75 kg minyak bumi (sebagai energi dan bahan baku). Bahan tersebut dapat didaur ulang dan memiliki nomor dua pada simbol daur ulang. HDPE banyak digunakan untuk pipa bertekanan, pipa distribusi gas, wadah kimia cair dan lain-lain. Karena sifatnya

yang keras, kuat, tahan terhadap air, serta mampu bertahan pada temperatur tinggi ( $120^{\circ}\text{C}$ ) dan rendah minus  $40^{\circ}\text{C}$ , HDPE dapat digunakan untuk pembuatan kapal boat.

Kapal jenis HDPE memiliki kekuatan struktur material yang berbeda dengan kapal baja atau material yang lain. Dalam pengoperasiannya, besarnya getaran yang dihasilkan oleh kapal HDPE juga berbeda dengan getaran yang dihasilkan oleh kapal baja. Jika getaran yang terjadi pada lambung kapal melebihi batas maksimum yang diizinkan oleh biro klasifikasi, maka dapat membahayakan keselamatan dan mengganggu kenyamanan penumpang. Getaran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan komponen mesin akibat kelelahan material (*fatigue*), deformasi, keausan, sehingga kejadian - kejadian tersebut dapat meningkatkan celah antar bagian - bagian yang rapat dan menyebabkan keretakan. Untuk mengetahui besarnya frekuensi getaran pada lambung kapal, maka perlu dilakukan analisa getaran. Dalam hal ini analisa dilakukan dengan menggunakan simulasi model CFD (*computational fluid dynamic*). Hasil akhir dari simulasi model ini adalah bentuk frekuensi getaran, total deformasi dan *equivalent stress*.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan material HDPE pada kapal SAR (*Search And Rescue*) terkait dengan getaran yang terjadi pada lambung kapal?
2. Bagaimana bentuk frekuensi dari getaran yang terjadi pada lambung kapal?

## **1.3. Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan dibahas, maka dilakukan pembatasan masalah. Adapun batasan – batasan masalah tersebut diantaranya adalah :

1. Analisa dikhususkan pada kapal SAR (*Search And Rescue*).
2. Analisa dilakukan untuk membandingkan kapal dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*) dan kapal dengan material baja.
3. Kapal yang dianalisa berukuran 16 meter.
4. Mesin yang digunakan pada kapal adalah Cummins type QSM11 Waterjet MJP Ultrajet 377.
5. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*).
6. Tidak melakukan pengukuran getaran.
7. Tidak membahas proses pembuatan kapal HDPE.
8. Analisa dilakukan pada lambung kapal.

#### **1.4. Tujuan Penulisan**

Tujuan penulisan ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan material HDPE pada kapal SAR (*Search And Rescue*) terkait dengan getaran yang terjadi pada lambung kapal.
2. Mengetahui bentuk dari frekuensi getaran yang dihasilkan.

#### **1.5. Manfaat Penulisan**

1. Menciptakan kenyamanan dan keamanan penumpang dengan meminimalisir getaran.
2. Mengetahui penggunaan software CFD.
3. Memberikan kontribusi untuk dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.
4. Memberikan referensi simulasi model untuk mengetahui frekuensi getaran.
5. Memberikan pengetahuan cara menghitung getaran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengertian HDPE (*High Density Polyethylene*)**

Polietilena berdensitas tinggi (*High Density Polyethylene*) adalah polietilena termoplastik yang terbuat dari minyak bumi dengan density sebesar 0,950 ton/m<sup>3</sup>. Untuk 1 kg HDPE membutuhkan 1,75 kg minyak bumi (sebagai energi dan bahan baku). Bahan tersebut dapat didaur ulang dan memiliki nomor dua pada simbol daur ulang. HDPE banyak digunakan untuk pipa bertekanan, pipa distribusi gas, wadah kimia cair dan lain-lain. Karena sifatnya yang keras, kuat, tahan terhadap air, serta mampu bertahan pada temperatur tinggi (120°C) dan rendah minus 40° C, HDPE dapat digunakan dalam pembuatan kapal / boat.

HDPE memiliki percabangan yang sangat sedikit, hal ini dikarenakan pemilihan jenis katalis dalam produksinya (katalis Ziegler-Natta) dan kondisi reaksi. Karena percabangan yang sedikit, HDPE memiliki kekuatan tensil 225 – 350 kgf/cm<sup>2</sup> dan gaya antar molekul yang tinggi. Massa jenis HDPE yang lebih rendah dari air, menyebabkan kapal HDPE memiliki kapasitas beban yang tinggi. Kapal HDPE tidak dapat korosi, serta tidak memerlukan antifouling karena tahan terhadap pertumbuhan laut, sehingga lambung kapal akan selalu bersih dan tumbuhan laut tidak bisa menempel pada lambung kapal. Koefisien thermal expansion HDPE sebesar 0,00023 per Celcius, modulus young sebesar  $1,1 \times 10^9$  Pascal. Kapal dengan material HDPE dapat dibentuk dengan cetakan dan metode ekstrusi, dalam proses fabrikasi yaitu dilas dengan metode hot air extrusion welding. Berikut merupakan contoh pengerjaan kapal boat dengan HDPE.



Gambar 2. 1 Contoh Pengerjaan Kapal HDPE

Karakteristik plastik :

1. Density

Plastik yang berbeda memiliki tingkat kepadatan yang berbeda, namun semuanya lebih ringan daripada sebagian besar jenis bahan lainnya. Polyethylene dan Polypropylene memiliki tingkat kepadatan yang lebih rendah dari kadar air sehingga bahan tersebut dapat mengambang diatas air.

2. Ketahanan

Sebagian besar plastik bersifat tahan lama dalam berbagai situasi. Sebagian besar diantaranya dapat mengalami penurunan setelah terkena sinar matahari yang terik dalam jangka waktu yang lama. Sebagian besar jenis plastik dapat bertahan terhadap bahan kimia tertentu, namun jenis zat tertentu akan bereaksi dengan sejumlah bahan plastik.

3. Penghantar Panas

Plastik digunakan sebagai penghambat panas karena memiliki daya penghantar panas yang sangat rendah.

4. Penghantar Listrik

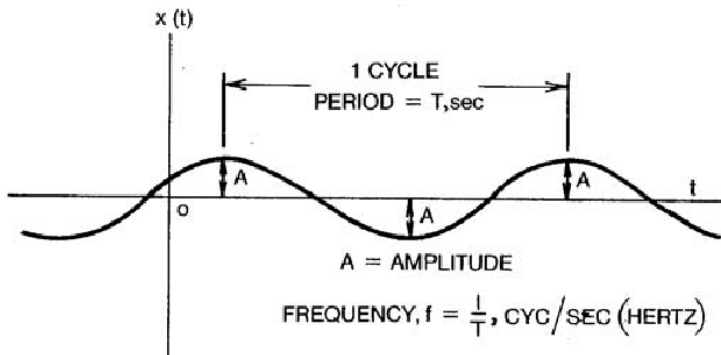
Plastik merupakan penghantar listrik yang sangat rendah sehingga dapat digunakan sebagai insulator / penyekat listrik. Plastik dapat menutup dan menyekat kawat tembaga dan bagian lain yang dalam pengerjaan berhubungan dengan listrik.

Polyethylene merupakan sejenis plastik serbaguna yang ramah lingkungan karena dapat diperbaharui kembali atau dapat didaur ulang. Ada tigabentuk utama polyethylene yaitu :

1. *High Density Polyethylene* (HDPE) bersifat kuat, flexible, permukaan mengkilap, tidak tembus cahaya. Bentuk umum yang ditemui adalah botol minuman, chemical bags, pipa dan sekarang dapat digunakan dalam pembuatan kapal boat.
2. *Low Density Polyethylene* (LDPE) bersifat lunak, flexible, permukaan mengkilap, bening, kokoh. Bentuk umum dari plastik jenis ini adalah kantong plastik belanja, botol plastik, pembungkus kawat.
3. *Polyethylene Terephthalate* (PET) bersifat flexible, bening, mengkilap, kuat, tahan terhadap rembesan gas. Bentuk umum plastik jenis ini adalah botol air minum mineral, kemasan detergen dan kemasan minyak goreng.

## 2.2. Pengertian Getaran

Getaran adalah gerak secara periodik atau sekali ulang setelah interval waktu tertentu yang disebut periode,  $T$  [1]. Getaran juga dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak balik atau osilasi dimana jumlahnya adalah parameter yang didefinisikan sebagai gerakan sistem mekanik [2]. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Kebanyakan mesin mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.



Gambar 2. 2 Skema sistem vibrasi

Istilah – istilah dalam getaran :

1. Amplitudo yaitu besar perpindahan maksimum dari titik kesetimbangan atau simpangan terbesar suatu getaran. Dua gelombang mungkin memiliki panjang gelombang yang sama, tetapi puncak gelombang dapat naik lebih tinggi di atas garis keseimbangan daripada puncak gelombang yang lain. Amplitudo gelombang memberikan indikasi jumlah relatif indikator yang ditransmisikan oleh gelombang. Jika serangkaian gelombang memiliki indikator dan panjang gelombang yang sama dan disebut deretan gelombang atau rangkaian gelombang.
2. Frekuensi yaitu banyaknya getaran yang terjadi tiap satuan waktu. Ketika rangkaian gelombang melewati titik - titik suatu medium maka sejumlah gelombang akan berada pada medium tersebut dalam unit waktu tertentu. Sebagai contoh jika sebuah gabus pada gelombang air naik dan turun satu kali setiap detik maka gelombang membuat satu getaran lengkap naik dan turun setiap detik. Jumlah naik turun atau siklus dari rangkaian gelombang dalam satuan waktu disebut frekuensi gelombang dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Jika lima gelombang melewati sebuah medium dalam waktu satu detik maka

frekuensi rangkaian gelombang adalah lima siklus per detik disingkat sebagai cps (*convolution per second*).

Rumus umum frekuensi adalah :

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Dimana :

f = frekuensi (Hz)

T = periode (s)

3. Periode yaitu waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu getaran penuh dengan satuan second (s).

Rumus umum periode (T) yaitu :

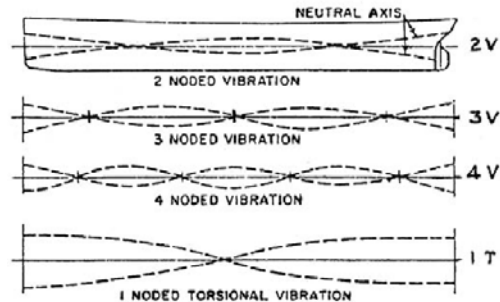
$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

Dimana :

f = frekuensi (Hz)

T = periode (s)

4. Frekuensi natural adalah frekuensi sistem tanpa damping tanpa eksitasi, yaitu apabila sistem diganggu dari keseimbangannya kemudian dibiarkan bergetar. Untuk pendistribusian massa dan kekakuan yang terus menerus, sistem memiliki nomor tak terbatas pada frekuensi alami, meskipun hanya relatif kecil jumlahnya biasanya secara praktiknya lebih signifikan.
5. Mode adalah frekuensi natural yang berbeda dari suatu sistem mendefinisikan mode sistem getaran.
6. Node adalah titik nol dalam distribusi perpindahan getaran atau pada bentuk mode. Umumnya, jumlah node dalam bentuk mode meningkat dengan frekuensi alami. Hal ini terdapat pada getaran lambung.



Gambar 2. 3 Model getaran pada lambung kapal

Kurva tersebut jika diukur sepanjang sheer strake, disebut sebagai basic model of hull vibration. Amplitudo dari deck, longitudinal bulkhead dan struktur lainnya yang elastis terhadap badal kapal, biasanya lebih besar dibandingkan dengan amplitudo dari sheer strake pada gading yang sama. Longitudinal motion sebanding dengan jarak dari netral aksis kali sudut penyipangan diasosiasikan dengan getaran vertikal dan transversal mode. Jika center gravity (titik berat) kapal tidak berhimpit dengan sumbu aksis dari simpul, berarti ada kopel diantara gerakan transversal dan torsional. Dalam hal ini transverse motion diasosiasikan dengan nilai tertentu dari moment torsi dan sebaliknya. Demikian juga jika center gravity tidak tepat dengan sumbu vertikal bending yang mana terhubung antara vertikal dan gerak longitudinal.

7. Gelombang yaitu getaran yang merambat, membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain. Saat getaran merambat, medium tidak ikut berpindah atau merambat tetapi hanya bergetar. Berdasarkan perambatannya, gelombang dapat dibagi menjadi dua yaitu gelombang mekanik (memerlukan media perambatan) dan gelombang elektromagnetik (dapat merambat baik ada maupun tidak ada mediumnya). Contoh gelombang mekanik adalah gelombang laut, gelombang tali dan gelombang bunyi. Gelombang elektromagnetik dapat dibagi menjadi 2 berdasarkan arah rambatan terhadap arah getarnya

yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang Transversal (arah rambatnya tegak lurus terhadap arah getarnya). Rambatan gelombang ini berbentuk bukit dan lembah gelombang. Contoh : gelombang tali dan gelombang cahaya. Gelombang Longitudinal, (arah rambatnya sejajar arah getarnya). Rambatan gelombang ini berbentuk rapatan dan rengangan. Contoh : gelombang bunyi.

8. Eksitasi yaitu sumber getar yang dapat menyebabkan sebuah sistem berosilasi.

### 2.3. Terminologi Getaran

1. Displasemen Getaran (*peak to peak*)

Total jarak yang ditempuh oleh bagian yang bergetar, yang menjalar dari satu limit ekstrem ke limit ekstrem lainnya disebut sebagai displasemen "*peak to peak*". Dalam satuan Standart Internasional (SI) biasanya diukur dalam micron (1/1000 kali satu indikator). Pada satuan British diukur dalam mils (mili inci - 1/1000 kali inci). Displasemen juga disebut sebagai "*peak*" (ISO 2372), yang merupakan setengah dari "*peak to peak*".

2. Kecepatan Getaran (*peak*)

Ketika massa yang bergetar bergerak maka kecepatannya berubah. Nilainya adalah nol di batas atas (puncak) dan di batas bawah (lembah) gerak tersebut, setelah melalui posisi garis keseimbangan. Kecepatan berada pada maksimum ketika massa melewati posisi netral atau garis keseimbangan. Kecepatan maksimum ini disebut sebagai kecepatan getaran puncak. Hal ini diukur dalam mm/s-pk atau inci/s-pk.

3. Kecepatan getaran (*rms*)

International Standart Organization (ISO), yang menetapkan secara Internasional unit pengukuran getaran mesin yang dapat diterima, telah menyarankan kecepatan root mean square (*rms*) sebagai unit standart pengukuran. Ini diputuskan dalam upaya untuk memperoleh kriteria yang akan menentukan nilai yang

efektif untuk fungsi kecepatan beragam. Kecepatan (*rms*) cenderung memberikan sinyal konten indikasi getaran, sedangkan kecepatan puncak (*velocity peak*) lebih berkorelasi dengan intensitas getaran. Kecepatan yang tinggi rms adalah pada umumnya lebih merusak daripada kecepatan tinggi yang sama besarnya dari kecepatan puncak (*velocity peak*).

#### 4. Percepatan Getaran

Dalam membahas kecepatan getaran, hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan massa mendekati nol di batas ekstrim dari perambatannya. Setiap kali perambatan getaran berhenti dibatas perambatannya, maka perambatannya harus dipercepat agar meningkatkan kecepatan getarannya ke batas yang berlawanan arah. Percepatan didefinisikan sebagai laju perubahan percepatan.

#### 5. Acuan Nilai Getaran

Mengacu pada benda pegas - massa, percepatan massa berada pada maksimum pada saat kecepatan perambatan massa adalah nol. Begitu kecepatan mendekati nilai maksimum, percepatan turun menjadi nol dan terus naik lagi ke nilai maksimum di batas ekstrim perambatan lainnya. Percepatan biasanya dinyatakan dalam g, percepatan yang dihasilkan oleh gaya gravitasi di permukaan bumi. Nilai g adalah  $9,80665 \text{ m/s}^2$  atau  $10 \text{ m/s}^2$ . [3]

### 2.4. Gerak Harmonik

Gerak osilasi dapat berulang secara teratur atau dapat juga tidak teratur, jika gerak itu berulang dalam selang waktu yang sama maka gerak itu disebut gerak periodik. Waktu pengulangan tersebut disebut perioda osilasi dan kebalikannya disebut frekuensi. Jika gerak dinyatakan dalam fungsi waktu  $x(t)$ , maka setiap gerak periodik harus memenuhi hubungan  $x(t) = x(t + T)$ .

Sebuah alternatif pendekatan untuk mendapatkan persamaan adalah penggunaan Prinsip D'Alembert yang menyatakan bahwa sebuah sistem dapat dibuat dalam keadaan keseimbangan dinamis dengan menambahkan sebuah gaya fiktif pada gaya-



gaya luar yang biasanya dikenal sebagai gaya inersia.

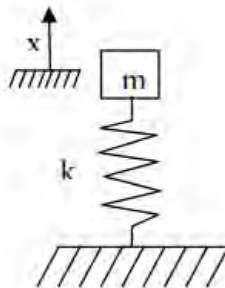
## 2.5. Jenis Getaran

Secara umum, getaran dikelompokkan menjadi dua yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

### 1. Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (inherent), dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar. Getaran bebas ada dua yaitu getaran bebas tanpa peredam dan getaran bebas dengan peredam. Untuk getaran bebas tanpa peredam, pada model yang paling sederhana redaman dianggap dapat diabaikan, dan tidak ada gaya luar yang mempengaruhi massa (getaran bebas). Dalam keadaan tersebut, gaya yang berlaku pada pegas  $F_s$  adalah sebanding dengan panjang peregang  $x$ , sesuai dengan hukum Hooke, atau jika dirumuskan secara matematis adalah sebagai berikut :

$$F_s = -k x \quad (2.3)$$



Gambar 2. 4 Model getaran bebas 1 DOF tanpa redaman

Dimana:

$x$  adalah simpangan

$m$  adalah massa

$k$  adalah konstanta pegas

Dalam menghitung gerakan massa  $m$  maka akan sangat mudah dengan mengukur jarak dari posisi kesetimbangan massa atau yang disebut displasemen, yaitu posisi vertical bukan horizontal. Posisi kesetimbangan massa adalah bahwa titik diimana massa akan diam menggantung beristirahat jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja padanya. Dalam keseimbangan, berat  $mg$  dari massa persis diimbangi oleh *restoring force* pegas. Jadi dalam keseimbangannya, pegas telah terregang sejauh  $\Delta$ , dimana  $kx\Delta$  sama dengan  $mg$ . Nilai  $k$  adalah tetapan pegas,  $x$  menunjukkan posisi kesetimbangan dan diambil negatif untuk arah ke atas. Jadi notasi  $x(t)$  menunjukkan posisi massa pada waktu  $t$ . Untuk mencari  $x(t)$  harus dihitung gaya total yang bekerja pada massa  $m$ . Gaya ini adalah sejumlah dari empat gaya terpisah, yaitu  $W, R, D$ , dan  $F$ .

Gaya  $W = mg$  adalah berat massa yang menarik ke atas. Gaya ini adalah negatif karena arah ke atas adalah arah  $x$  negatif. Gaya  $R$  adalah *restoring force* (gaya pemulih) pegas sebanding dengan perpanjangan atau kompresi pegas, yaitu sebesar  $\Delta + x$ . Selalu bekerja untuk mengembalikan pegas pada panjang awalnya. Jika  $\Delta + x > 0$  maka  $R$  adalah negatif sehingga  $R = -k(\Delta + x)$ . Jika  $\Delta + x < 0$  maka  $R$  adalah positif sehingga  $R = -k(\Delta + x)$ . Dalam kedua hal tersebut, diambil  $R = -k(\Delta + x)$ .

Gaya  $D$  adalah gaya redaman atau *drag force*. Disini media bekerja pada massa  $m$ . Gaya ini selalu bekerja dalam arah yang berlawanan dengan arah gerak dan berbanding lurus dengan besarnya kecepatan  $\frac{dx}{dt}$ . Jika kecepatan adalah positif, yaitu massa

bergerak ke arah bawah maka  $D = -c \frac{dx}{dt}$ , jika kecepatan negatif maka  $D = -c \frac{dx}{dt}$ . Dalam kedua hal tersebut, diambil  $D = -c \frac{dx}{dt}$ .

Gaya F adalah gaya eksternal yang dikerjakan pada massa. Gaya ini diarahkan ke atas atau ke bawah, tergantung apakah F positif atau negatif. [3]

Gaya yang ditimbulkan sebanding dengan percepatan massa, sesuai dengan hukum kedua Newton dimana :

$$\Sigma F = m a \quad (2.4)$$

Keterangan :

F = Gaya

m = massa

a = akselerasi

Karena  $F = F_s$ , maka persamaan diferensialnya adalah sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (2.5)$$

Massa dapat berisolasi dalam gerak harmonis sederhana yang memiliki frekuensi natural  $f_n$ . Bilangan  $f_n$  adalah salah satu besaran terpenting dalam menganalisa getaran. Pada sistem massa pegas sederhana  $f_n$  didefinisikan sebagai :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.6)$$

Frekuensi dengan sudut  $\omega$  dalam satuan radian per second sering kali digunakan dalam persamaan karena menyederhanakan persamaan, namun besaran ini biasanya diubah dalam frekuensi saat menyatakan frekuensi sistem.

Getaran bebas dengan peredam berarti gaya peredam juga berlaku pada massa selain gaya yang disebabkan oleh peregangan pegas. Bila bergerak dalam fluida benda akan mendapatkan

peredaman karena kekentalan fluida. Gaya akibat kekentalan ini sebanding dengan kecepatan benda. Konstanta akibat kekentalan (viskositas) ini dinamakan koefisien peredam, dengan satuan N s/m (SI).

$$F_d = -c\dot{x} = -c\dot{x} = -c \left( \frac{dx}{dt} \right) \quad (2.7)$$

Dengan menjumlahkan semua gaya yang berlaku pada benda kita mendapatkan persamaan :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.8)$$

Solusi persamaan tersebut tergantung pada besarnya redaman.

Apabila redaman cukup kecil, maka sistem masih akan bergetar, namun nanti akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang redam, dan merupakan kasus yang mendapatkan perhatian dalam sistem analisa vibrasi. Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada model massa - pegas - peredam adalah :

$$c_{cr} = 2 \sqrt{k m} = 2m\omega \quad (2.9)$$

Untuk mengetahui jumlah peredaman dalam sistem digunakan nisbah yang dinamakan nisbah redaman. Nisbah merupakan perbandingan antara peredaman sebenarnya terhadap jumlah peredaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis. Rumus untuk nisbah redaman ( $\zeta$ ) adalah

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{k m}} \quad (2.10)$$

Sebagai contoh struktur logam akan memiliki nisbah redaman lebih kecil dari 0,05, sedangkan suspensi otomotif akan berada pada selang 0,2-0,3.

Solusi sistem kurang redam pada model massa-pegas-peredam adalah :

$$x(t) = X e^{-\zeta \omega_n t} \cos(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t - \phi), \quad \omega_n = 2\pi f_n \quad (2.11)$$

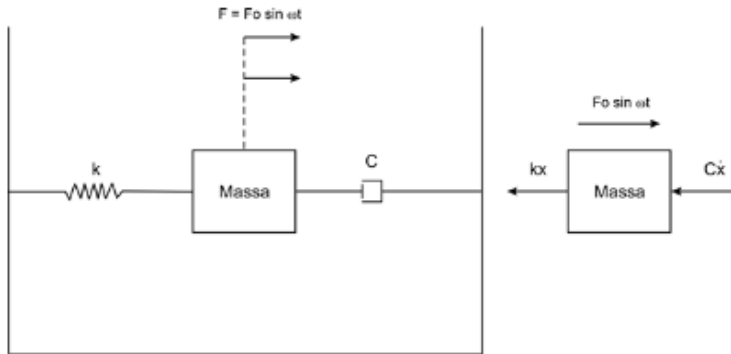
Nilai  $X$ , amplitudo awal, dan  $\phi$  insutan fase, ditentukan oleh panjang regangan pegas. Dari pemecahan masalah diatas dapat diketahui tentang dua hal : yaitu faktor cosinus dan faktor eksponensial. Faktor cosinus merupakan lambang dari osilasi sistem yang memiliki frekuensi osilasi berbeda dari kasus tidak teredam. Fungsi eksponensial menentukan kecepatan sistem teredam. Semakin besar nisbah redaman, semakin cepat sistem teredam ke titik nol. Dalam hal ini, frekuensi teredam,  $f_d$  terhubung dengan frekuensi alamiah tak redam dengan rumus sebagai berikut :

$$f_d = \sqrt{1 - \zeta^2} f_n \quad (2.12)$$

Frekuensi alamiah teredam lebih kecil daripada frekuensi alamiah tak redam, namun untuk banyak kasus praktis nisbah redaman relatif kecil, dan karenanya perbedaan tersebut dapat diabaikan. Karena itu deskripsi teredam dan takredam kerap kali tidak disebutkan ketika menyatakan frekuensi alamiah.

## 2. Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.



Gambar 2. 5 Getaran paksa dengan peredam

## 2.6. Konsep Getaran dan Perambatannya

Pendekatan fungsi respon frekuensi menekankan pada respon degree of freedom transient dan steady state. Ada tiga komponen utama dari suatu sistem getaran yaitu input, sistem dan output [4].

### 1. Input

Merupakan gaya luar yang dikenakan pada suatu sistem yang menyebabkan sistem itu bergetar.

### 2. Sistem

Sistem dapat dikategorikan sebagai beberapa derajat kebebasan yaitu :

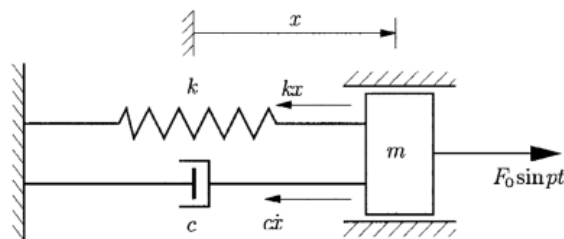
- Sistem dengan satu derajat kebebasan
- Sistem dengan dua derajat kebebasan
- Sistem dengan banyak derajat kebebasan
- Sistem continue

### 3. Output

Merupakan akibat yang terjadi karena adanya input yang bekerja terhadap suatu sistem.

### 2.6.1. Sistem Satu Derajat Kebebasan

Dalam dinamika struktur, jumlah koordinat bebas (*independent coordinates*) diperlukan untuk menetapkan susunan atau posisi sistem setiap saat, yang berhubungan dengan jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*). Pada umumnya, struktur berkesinambungan (*continuous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan (*number of degrees of freedom*) tak terhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit dan untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat tunggal. Apabila sistem dibatasi hanya dapat bergerak dalam satu koordinat bebas untuk menunjukkan keadaan massa geometri sistem dalam ruang secara lengkap, maka sistem tersebut disebut satu derajat kebebasan. Pada sistem massa pegas ini, apabila massa ( $m$ ) dibatasi bergerak secara tegak maka hanya ada satu koordinat saja yang dibutuhkan untuk mendefinisikan kedudukan massa pada waktu sekarang dari kedudukan kesetimbangan statis. Berarti sistem ini memiliki satu derajat kebebasan. Berikut adalah contoh model linier sistem satu derajat kebebasan.[7]



Gambar 2. 6 Model linier sistem satu derajat kebebasan

Adapun persamaan geraknya adalah sebagai berikut :

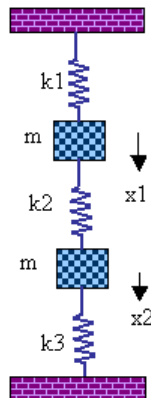
$$m\ddot{x} = -kx - c\dot{x} + F_0 \sin pt \quad (2.13)$$

atau

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin pt \quad (2.14)$$

Sistem derajat kebebasan tunggal memiliki elemen-elemen sebagai berikut :

1. Elemen massa ( $m$ ), menyatakan massa sifat inersia dari struktur.
2. Elemen pegas ( $k$ ), menyatakan gaya balik elastic (*elastic restoring force*).
3. Elemen redaman ( $c$ ), menyatakan sifat geseran dan kehilangan energi dari struktur.
4. Gaya pengaruh ( $F(t)$ ), menyatakan gaya luar yang bekerja pada sistem struktur.



Gambar 2. 7 contoh sistem dua derajat kebebasan

### 2.6.2. Sistem Dua Derajat Kebebasan

Apabila suatu sistem membutuhkan dua koordinat untuk menggambarkan gerakanya, maka sistem dikatakan mempunyai dua derajat kebebasan. Sistem semacam ini merupakan pengantar sederhana ke sifat sistem dengan beberapa derajat kebebasan. sistem dengan dua derajat kebebasan akan



mempunyai dua frekuensi natural. Bila getaran bebas terjadi pada salah satu frekuensi natural ini, maka hubungan yang pasti terjadi antara amplitudo-amplitudo kedua koordinatnya dinyatakan sebagai ragam normal (normal mode). Sistem dengan dua derajat kebebasan ini akan mempunyai dua getaran ragam normal sesuai dengan kedua frekuensi naturalnya. Getaran bebas yang dimulai karena kondisi apapun pada umumnya akan merupakan superposisi dua getaran ragam normal. Namun getaran harmonik paksa akan terjadi pada frekuensi eksitasi dan amplitudo kedua koordinat akan menuju ke suatu maksimum pada kedua frekuensi natural. Sistem dua derajat kebebasan dibagi atas tiga sistem yaitu :

1. Dalam sistem massa pegas, bila  $m_1$  dan  $m_2$  secara vertikal dibatasi maka paling sedikit dibutuhkan satu koordinat  $x(t)$  untuk menentukan kedudukan massa pada berbagai waktu. Berarti sistem ini membutuhkan dua buah koordinat bersama-sama untuk menentukan kedudukan massa pegas, sistem ini adalah sistem dua derajat kebebasan.
2. Bila massa  $m$  ditumpu dengan dua buah pegas dengan gerakan dibatasi secara vertikal maka dibutuhkan dua buah koordinat untuk menentukan konfigurasi sistem. Salah satu konfigurasi ini merupakan perpindahan lurus, seperti perpindahan massa. Koordinat yang lain yaitu perpindahan sudut yang mengukur rotasi massa. Kedua koordinat ini satu sama lain bebas oleh karena itu sistem ini adalah sistem dua derajat kebebasan.
3. Untuk pendulum ganda, jelas bahwa untuk menentukan posisi  $m_1$  dan  $m_2$  pada berbagai waktu dibutuhkan dua koordinat dan sistem adalah dua derajat kebebasan. Tetapi  $x_1$  dan  $x_2$  atau  $y_1$  dan  $y_2$ , atau  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  merupakan kelompok koordinat sistem ini.

### **2.6.3. Sistem Dengan Banyak Derajat Kebebasan**

Sistem banyak derajat kebebasan adalah sistem yang mempunyai koordinat bebas untuk mengetahui kedudukan

massa lebih dari dua buah. Dalam menganalisa sistem banyak derajat kebebasan, pada dasarnya adalah sama dengan sistem satu atau dua derajat kebebasan. Tetapi karena banyaknya langkah yang harus dilewati untuk mencari frekuensi melalui perhitungan matematis, maka sistem digolongkan menjadi banyak derajat kebebasan.

## 2.7. Fenomena Springing dan Resonansi

Secara umum dapat dilihat bahwa bila suatu kapal yang sedang berlayar ditengah laut maka badan kapal (*hull*) akan mengalami baik hempasan yang dahsyat maupun alunan yang tetap dari gelombang laut, terutama gelombang laut yang datang arah haluan. Hempasan gelombang terjadi bila kapal berlayar dilautan dengan amplitudo gelombang yang tinggi antara 2 meter sampai 3 meter dan gelombang datang dari arah haluan. Hempasan - hempasan gelombang tersebut dapat terjadi dibagian - bagian haluan kapal yaitu di *bowflare* dan di *bottom* sekitar 60% di bawah garis muatan sarat. Fenomena pertama disebut *bowflare impact* dan yang kedua disebut *bottom impact*. Kedua fenomena ini disebut *slamming impact*.

Gelombang yang sangat tinggi sering menghempas bagian deck atas haluan kapal dan fenomena ini disebut shipping *green water*. Ketiga fenomena tersebut akan mengakibatkan kerusakan - kerusakan pada struktur kapal terutama pada haluan dan *deck* atas haluan dan getaran yang ditimbulkan adalah getaran *whipping*. Berbeda dengan ketiga fenomena tersebut, alunan yang tetap tanpa pukulan ataupun hempasan gelombang laut tersebut akan menimbulkan suatu fenomena yang disebut springing, wave induced ship hull vibration atau fenomena resonansi. Akibat resonansi tersebut maka amplitudo getaran akan membesar dan bila nilai tersebut di atas ambang batas maka getaran yang dihasilkan, yaitu getaran steady state vibration dapat saja merusakkan atau mengakibatkan fatigue pada struktur kapal.[3]

## 2.8. Redaman

Suatu sistem yang bergetar ( osilasi ) secara bebas akan mengalami penurunan amplitudo getaran. Hal ini disebabkan karena adanya sifat peredam yang dimiliki oleh suatu material. Dari sifat-sifat peredaman, maka jenis-jenis redaman dapat dibedakan menjadi :

- Redaman Viscous (redaman karena kekentalan)
- Coulomb damping (dry fraction)
- Solid damping (hystering damping)

### 1. Redaman Viscous (redaman karena kekentalan)

Type peredaman ini diibaratkan sebagai gerakan (osilasi) suatu benda didalam suatu fluida yang relatif kental. Pada saat berosilasi benda tersebut mengalami gesekan dengan molekul-moleku fluida tersebut. Besarnya gaya redaman type ini sebanding dengan kecepatan benda yang bersangkutan.

### 2. Coulomb damping (dry fraction)

Merupakan gaya redaman konstan yang disebabkan oleh gesekan kinetik antara dua buah permukaan yang kering (*sliding dry surface*).

### 3. Solid damping (*hystering damping*)

Disebabkan oleh friksi internal atau histeris ketika sebuah benda padat (solid) terdeformasi. Amplitudo stress (stress amplitudo) adalah sebuah ukuran untuk solid damping.

Getaran Bebas Teredam Karena Kekentalan

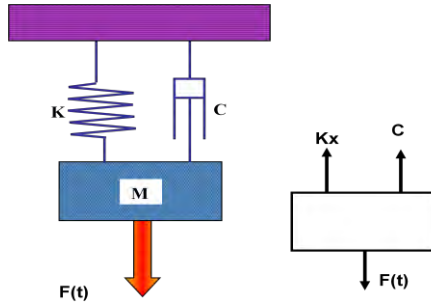
Bentuk persamaan gerakannya pada umumnya adalah :

$$m\ddot{x} + F_d + kx = F(t) \quad (2.15)$$

dengan  $F(t)$  adalah gaya eksitasi dan  $F$  adalah gaya redaman.

Gaya redaman dapat diasumsikan model-model redaman ideal yang sering menghasilkan perkiraan respon yang memuaskan. Dari model-model ini, gaya redaman karena kekentalan, yang

sebanding dengan kecepatan, menghasilkan pengolahan matematika yang paling mudah.



Gambar 2. 8 Getaran bebas teredam karena kekentalan

## 2.9. Sistem Tak Teredam

Analisis sistem dasar yang sederhana dalam pembahasan dinamika struktur adalah sistem derajat tunggal, dimana gaya geseran atau redaman diabaikan, dan sebagai tambahan, akan ditinjau sistem yang bebas dari gaya aksi gaya luar selama bergerak atau bergetar. Pada keadaan ini, sistem tersebut hanya dikendalikan oleh pengaruh atau kondisi yang dinamakan kondisi awal (*initial conditions*), yaitu perpindahan yang diberikan dalam kecepatan saat  $t = 0$  pada saat pembahasan dimulai. Sistem derajat kebebasan tunggal tak teredam sering dihubungkan saat osilator sederhana tak teredam (*simple undamped oscillator*).

## 2.10. Macam – Macam Getaran di Kapal

Umumnya getaran di kapal dapat dibagi menjadi 5 yaitu :

### 1. Getaran vertikal

Getaran ini menimbulkan getaran 2 node dan mempunyai frekuensi natural yang sangat rendah ( $\pm 100$  rpm), mendekati frekuensi putaran mesin utama sehingga menyebabkan resonansi yang menimbulkan kebisingan dan rasa tidak nyaman bagi ABK maupun penumpang yang berada di atas kapal.

### 2. Getaran horizontal

Frekuensi getaran ini pada umumnya 1,2 sampai dengan 1,5 kali frekuensi getaran vertikal sehingga tidak menimbulkan masalah pada kapal.

### 3. Getaran lokal

Getaran ini terjadi pada bagian-bagian kapal seperti: geladak, anjungan, frame di ruang mesin, poros propeller, bulkhead, stern frame dll.

### 4. Getaran resonansi

Getaran yang terjadi apabila frekuensi dari exciting force mendekati frekuensi massa sistem tersebut.

### 5. Getaran torsional

Getaran ini terjadi pada saat bagian tengah dianggap tetap sedangkan bagian haluan dan buritan bergetar berlawanan yang mengakibatkan terjadinya moment torsi. Getaran ini pada umumnya memiliki frekuensi antara 3 sampai dengan 5 kali getaran vertikal.

Berdasarkan gerakannya, getaran dibagi menjadi dua yaitu :

#### 1. Getaran Rectilinear

Getaran rectilinear memiliki elemen-elemen getaran, diantaranya massa (m), kekakuan (k), damping (c), dan gaya luar (F(t))

#### 2. Getaran Rotasional

Elemen - elemen yang terdapat pada getaran torsional adalah momen inersia massa dari massa (J), torsi pegas dengan konstanta (kt), redaman torsi dengan koefisien damping torsi (ct), displasemen sudut ( $\Theta$ ), kecepatan sudut ( $\omega$ ), dan percepatan sudut ( $\alpha$ ).

Perhitungan getaran rolling kapal dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [10] :

$$\omega_n^2 = \frac{Wh}{J} \quad (2.16)$$

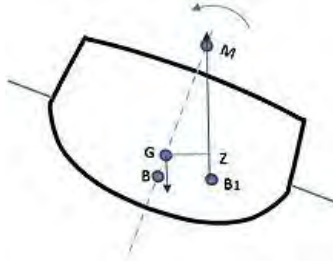
dimana :

W = berat kapal atau gaya apung

$h$  = jarak antara titik berat kapal  $G$  dan  $M$

$M$  = titik tinggi metacentre

$J$  = momen inertiya kapal terhadap sumbu longitudinal



Gambar 2. 9 Jarak antara titik berat  $G$  dan  $M$

Frekuensi actual sudut dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\omega = \omega_n \sqrt{1 - \delta^2} \quad (2.17)$$

Dimana :

$\omega$  = frekuensi actual

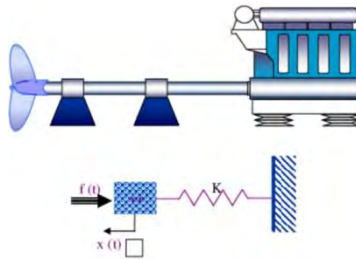
$\omega_n$  = frekuensi natural

$\delta$  = faktor damping

## 2.11. Getaran Pada Sistem Propulsi

Salah satu getaran dengan gerak sejajar sumbu poros propeller disebut sebagai getaran sistem propulsi kapal. Adanya gaya radial akibat main engine dan putaran propeller menyebabkan getaran longitudinal. Thrust block menahan thrust atau gaya aksial propeller untuk diteruskan ke konstruksi kapal. Akibat gaya aksial tersebut, maka mengakibatkan pondasi mesin dan thrust block mengalami pergeseran secara longitudinal. Apabila semua sistem dari propeller sampai engine dianggap satu kesatuan massa tegar, maka seluruh sistem mengalami getaran dengan displacement aksial yang sama sebesar  $x(t)$ . Sistem ini akan mengalami getaran longitudinal pada posisi thrust block.

Sistem propulsi kapal dapat dilakukan dengan pemodelan sebagai suatu sistem pegas massa.



Gambar 2. 10 Model matematis getaran longitudinal sistem propulsi

## 2.12. Karakteristik Getaran

Kondisi suatu mesin dan masalah-masalah mekanik yang terjadi dapat diketahui dengan mengukur karakteristik getaran pada mesin tersebut. Karakteristik - karakteristik getaran yang penting antara lain :

- Frekuensi Getaran
- Perpindahan Getaran (*Vibration Displacement*)
- Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)
- Phase Getaran

### 2.12.1. Frekuensi Getaran

Gerakan periodik atau getaran selalu berhubungan dengan frekuensi yang menyatakan banyaknya gerakan bolak-balik (satu siklus penuh) tiap satuan waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode suatu getaran dapat dinyatakan dengan rumus sederhana :  
 frekuensi =  $1 / \text{periode}$   
 frekuensi dari getaran tersebut biasanya dinyatakan sebagai jumlah siklus getaran yang terjadi tiap menit (CPM = Cycles per minute). Sebagai contoh sebuah mesin bergetar 60 kali (siklus; dalam 1 menit maka frekuensi getaran mesin tersebut adalah 60 CPM. Frekuensi bisa juga dinyatakan

dalam CPS (cycles per second) atau Hertz dan putaran dinyatakan dalam revolution per minute (RPM).

### **2.12.2. Perpindahan Getaran (*Vibration Displacement*)**

Jarak yang ditempuh dari suatu puncak ke puncak yang lain disebut perpindahan dari puncak ke puncak (peak to peak displacement). Perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan mikron ( $\mu\text{m}$ ) atau mils.  $1\ \mu\text{m}$  0.001 mm 1 mils 0.001 inch.

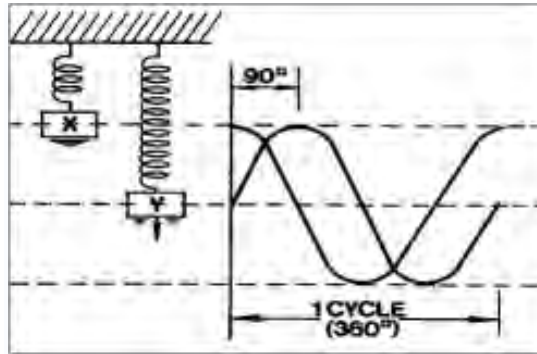
### **2.12.3. Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)**

Karena getaran merupakan suatu gerakan, maka getaran tersebut pasti mempunyai kecepatan. Pada gerak periodik (getaran) kecepatan maksimum terjadi pada posisi netral sedangkan kecepatan minimum terjadi dari puncak ke puncak lain. Kecepatan getaran ini biasanya dalam satuan mm/det (peak). Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoida, maka seringkali digunakan pula satuan mm/sec (rms). nilai peak = 1,414 x nilai rms Kadang-kadang digunakan juga satuan inch/sec (peak) atau inch/sec (rms)  
1 inch = 25,4 mm.

### **2.12.4. Phase Getaran**

Pengukuran phase getaran memberikan informasi untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar yang bergetar dengan pada suatu saat, terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain frekuensi yang sama.





Gambar 2. 11 Contoh pengukuran phase getaran

### 2.13. Sumber Getaran Kapal

Kapal merupakan suatu bangunan elastis yang cukup kompleks, dimana getaran yang terjadi pada kapal bisa disebabkan antara lain yang terbesar oleh getaran dari putaran baling-baling atau permesinannya. Sumber penyebab getaran kapal dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Dari dalam kapal itu sendiri
  - a. Disebabkan karena adanya perbedaan frekuensi dari masing-masing mesin yaitu mesin utama, dan mesin-mesin bantu maka akan timbul unbalanced force yang mengakibatkan terjadinya getaran.
  - b. Pembuatan daun propeller yang tidak sempurna yang mengakibatkan titik berat dari propeller tersebut tidak tepat pada garis centernya sehingga timbul unbalance force (gaya dorong yang tidak merata) pada putaran propeller.
  - c. Pembuatan daun propeller sudah sempurna dengan titik berat berada pada centernya tetapi pitch pada masing-masing daunnya tidak sama sehingga gaya dorong terhadap air pada tiap-tiap daun tidak merata.

- d. Pembuatan propeller sempurna baik titik berat maupun pitch-nya tetapi alignment/pemasangannya tidak sempurna sehingga terjadi moment torsi.
- e. Pada kapal yang memakai twin screw terjadi getaran apabila aliran fluida pada masing-masing propeller dan hull tidak sama.
- f. Terjadi aliran vortex (pusaran air) baik pada daun propeller maupun pada kemudi.
- g. Besarnya daun propeller yang tidak seimbang dengan bentuk hull pada bagian buritan yang mengakibatkan tekanan air terlalu besar.

## 2. Dari Gelombang (ship motion)

Getaran yang disebabkan oleh gelombang antara lain sebagai berikut:

- a. Karena Hempasan  
Dapat mengakibatkan terjadinya slamming, bow flare, shipping green (wave impact yang mengakibatkan whipping vibration).
- b. Karena Alunan Gelombang (wave induced ship hull vibration)
- c. Gelombang kecil (alunan) yang dialami oleh kapal mengakibatkan terjadinya springing vibration dan dapat menimbulkan resonansi.

### 2.14. Metode Mengurangi Getaran

Getaran kapal akan mencapai nilai amplitudo paling besar pada saat poros sebagai penyebab timbulnya getaran pada kapal berputar dengan frekwensi sama atau mendekati frekuensi dari salah satu basic hull atau lokal modes. Sebuah kondisi resonansi dimana selanjutnya disebut sebagai exsisting. Beberapa metode umum untuk mengurangi getaran dalam kapal dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Menghindari resonansi dengan cara menentukan jumlah daun propeller, mengatur rpm atau mengatur frekuensi struktur lokal. Kenyataannya tidak mudah untuk merubah frekuensi di material kapal secara keseluruhan.
2. Mengurangi timbulnya gaya pada level terendah.
3. Menggunakan alat khusus seperti synchronization, counteractive weight dan damper (penyeimbang) merupakan suatu kejelasan dalam engineering, bahwa begitu beragamnya ukuran dan type kapal, nilai putaran poros pada saat beroperasi (rpm) tidak lebih dari 50 sampai 150% dari 2 noded frekuensi. Gaya frekuensi daun baling-baling mempunyai frekuensi mendekati mode yang lebih tinggi, yaitu 3 sampai 6 noded bending, torsional modes dan getaran lokal. Frekuensi dari mode 2 noded dapat dihitung dengan keakurasian (95% atau lebih bagus) untuk jenis-jenis kapal yang mempunyai keterbatasan superstruktur dan kurangnya jaminan keakurasian untuk kapal penumpang dan bangunan atas yang luas. Karena baling-baling yang tidak benar-benar sempurna dalam pembuatannya dan mungkin mengalami kerusakan pada saat perbaikan, dan mesin diesel yang beroperasi sebagai penggerak dalam kapal keseimbangannya mungkin tidak sempurna, akan diharapkan untuk menyesuaikan putaran poros sehingga resonansi dengan dua noded tidak terjadi. Hal ini mungkin dan bisa tidak mungkin untuk dilakukan karena untuk putaran (rpm) pada kapal adalah tetap dengan mempertimbangkan efisiensi dari propulsi, beban biaya dan ketersediaan dari peralatan propulsi. Hanya sedikit diperbolehkan untuk melakukan perubahan pada putaran (rpm). Keakurasian putaran propeller diperlukan untuk mencapai level getaran yang diperbolehkan. Pada mode frekuensi yang lebih tinggi juga dapat dihitung, tetapi keakurasiannya tidak pasti, hasilnya bergantung pada penentuan putaran (rpm) dan jumlah daun propeller.

### 2.15. Faktor yang Mempengaruhi Frekuensi

Dengan perubahan pembebanan, frekuensi dari berbagai macam mode bisa saling bersinggungan. Kesimpulannya jika semua resonansi yang timbul selalu diusahakan untuk dihilangkan, maka kapal tidak akan bisa dijalankan. Jika frekuensi-frekuensi ini merupakan frekuensi yang sudah diperhitungkan termasuk juga dengan yang sudah diobservasi, selanjutnya penggabungannya bisa diperluas untuk memberikan toleransi terhadap kemungkinan kesalahan dalam perhitungan. Berbagai macam percobaan sudah dipublikasikan dalam pengembangan metode dalam memperhitungkan frekuensi kapal dengan tujuan untuk menangkal resonansi.

Frekuensi dan amplitudo relatif dari vertikal dan transversal mode bending dari sebuah kapal dapat ditentukan dengan faktor-faktor sebagai berikut:

- a. Distribusi memanjang dari beban kapal.
- b. Distribusi memanjang dari tambahan beban air sesungguhnya disekeliling kapal.
- c. Distribusi memanjang dari kekakuan terhadap beban bending pada kapal.
- d. Distribusi memanjang dari kekakuan terhadap beban tekanan pada kapal.
- e. Gerakan memanjang yang berkaitan dengan bending (rotary inertia effect)
- f. Pertambahan nilai dari gaya inersia yang dihasilkan dari titik penitikberatan amplitude lokal di atas amplitudo basic hull pada sheer strake.
- g. Pelebaran secara tranversal dan vertikal terkait dengan tegangan berdasarkan Poisson's Ratio.
- h. Efek kekakuan karena adanya buoyancy.

## 2.16. Aturan Biro Klasifikasi

### 1. Standar ABS

Salah satu standar *American Bureau of Shipping* (ABS) menyatakan bahwa getaran longitudinal sistem propulsi dianggap berlebihan apabila Root Mean Square (RMS) amplitudo percepatannya lebih besar dari 0.25 gravitasi.

Dalam banyak kasus amplitudo diasumsikan konstan sehingga :

$$A_{\text{RMS}} = A$$

$$A_{\text{RMS}} = [2\pi nZ/60]^2 X$$

$$A_{\text{RMS}} < 0.25 \text{ gram}$$

### 2. Standar ISO

Aturan ISO terhadap getaran longitudinal lebih menekankan pada kenyamanan dan keamanan personil yang ada dikapal. Orang yang terkena getaran melampaui batas secara kontinyu akan merasakan kelelahan (fatigue) sehingga mempengaruhi produktivitas kerja. Aturan ISO memberikan hubungan antara frekuensi dan besarnya amplitudo getaran yang diizinkan untuk lama exposure 8 jam. Menurut standart ISO, tubuh akan merasa tidak nyaman ketika magnitude diatas 0.8 m/s<sup>2</sup>. Berikut batas limit yang diizinkan oleh ABS [5].

Tabel 2. 1 *Vibration* limit yang diizinkan ABS

<i>Propulsion Machinery</i>	<i>Limits (rms)</i>
Thrust Bearing and Bull Gear Hub	5 mm/s
Other Propulsion Machinery Components	13 mm/s
Stern Tube and Line Shaft Bearing	7 mm/s
Diesel Engine at Bearing	13 mm/s
Slow & Medium Speed Diesel Engine on Engine Top (over 1000 HP)	18 mm/s
High Speed Diesel Engine on Engine Top (less 1000 HP)	13 mm/s

### 3. Standar DNV

Berdasarkan standard *Det Norske Veritas* (DNV), criteria diaplikasikan untuk semua kecepatan yang diizinkan dan beban dalam kondisi running. Tabel C3 menunjukkan batas minimal yang diaplikasikan pada kapal dengan engine lebih dari 200 rpm.[6]

Tabel 2. 2 Accepting criteria diizinkan DNV

<b>Table C3 Diesel engines &gt; 200 rpm</b>
<i>Velocity</i>
4,8– 100 Hz
15 mm/s

Untuk kapal kecil dengan panjang keseluruhan kurang dari 35 m, besarnya amplitudo getaran yang diizinkan pada daerah utama adalah 6 mm/s.

### 2.17. *Finite Element Method (FEM) Analysis*

*Finite Element Method (FEM)* atau lebih dikenal dengan metode elemen hingga merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa suatu konstruksi yang meliputi analisa struktur, heat transfer, aliran fluida, perpindahan massa, dan elektromagnetik. Metode ini banyak digunakan pada konstruksi kapal maupun bangunan lepas pantai. Metode ini tidak terbatas pada konstruksi baja (*steel construction*) tetapi juga pada fluida. Analisa struktur dengan menggunakan *finite element method* atau metode elemen hingga memungkinkan untuk mendapatkan penyebaran tegangan pada konstruksi yang dianalisa. Untuk masalah struktur penyelesaian yang didapat adalah deformasi (*displacement*) pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-besaran regangan (*strain*) dan tegangan(*stress*). Penyelesaian metode elemen hingga umumnya menggunakan metode matriks dan memerlukan perhitungan yang sangat banyak dan berulang -

ulang dari persamaan yang sama, sehingga diperlukan sarana komputer dan bahasa pemrogramannya. Kegagalan suatu konstruksi dapat diketahui dengan menggunakan analisa ini dan dapat mengetahui pada titik mana kegagalan tersebut ditunjukkan. Sehingga akan lebih mudah untuk melakukan modifikasi konstruksi. Untuk menganalisa dengan menggunakan *finite element method* dapat dilakukan dengan menggunakan software seperti CFD, *solidworks*, *NUMECA*, MSC Nastran dan sebagainya.

CFD adalah sebuah software metode elemen hingga (*finite element method*) yang digunakan untuk menganalisa mekanika benda tegar, analisis fluida, dan analisis perpindahan panas. ANSYS memiliki beberapa fasilitas diantaranya yaitu : mechanical untuk menganalisa struktur (statik) dan thermal (perpindahan panas), fluid flow yang terdiri dari CFD CFX dan fluent untuk analisa CFD (*computational fluid dynamics*), engineering data sebagai data base material lengkap dengan propertiesnya, design modeler digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisa dan memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD, meshing application yang digunakan untuk "meshing" baik pada CFD maupun *explicit dynamics*, bladegen digunakan untuk membangun geometri blade, seperti fan, blower sudu turbin dan lain-lain.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Untuk mendukung proses pengerjaan tugas akhir dengan judul analisa getaran pada kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*), maka diperlukan adanya penjelasan metode lebih lanjut mengenai tahapan-tahapan pengerjaan dalam menyelesaikan tugas akhir tersebut. Penelitian ini sebagian besar menggunakan software diantaranya maxsurf 9, autocad, *hydromax*, *solidworks*, CFD (*Computational Fluid Dynamic*), dan perhitungan manual (*manual calculation*). Maxsurf 9 digunakan untuk membuat model tiga dimensi kapal, sedangkan autocad dan hydromax digunakan untuk mencari nilai - nilai yang digunakan untuk menghitung getaran, software solidworks digunakan untuk mengubah tiga dimensi kapal menjadi bentuk solid dan memberi ketebalan pelat, sedangkan software CFD digunakan untuk simulasi model dan mengetahui nilai deformasi maksimal, *equivalent stress*, dan bentuk frekuensi getaran.

#### **3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Merupakan langkah pertama untuk mengerjakan tugas akhir ini. Tahap dimana untuk memulai mengidentifikasi masalah yang dijadikan ide tugas akhir dan belum pernah digunakan oleh orang lain. Setelah mendapatkan ide tugas akhir yang akan dianalisa, kemudian dirumuskan permasalahan yang perlu dibahas apa saja terkait dengan judul tugas akhir tersebut. Dalam penulisan tugas akhir ini, didapatkan ide skripsi mengenai analisa getaran pada kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*). Kapal HDPE saat ini menjadi populer dalam bidang industri maritime khususnya dalam pembuatan kapal boat. Keuntungan menggunakan kapal dengan material HDPE yaitu HDPE memiliki massa jenis yang lebih ringan dari air yaitu sekitar  $0,950 \text{ gr/cm}^3$ , maka kapal HDPE memiliki

kapasitas beban yang tinggi. Selain itu kapal HDPE tidak terpengaruh oleh kerusakan waktu karena kapal tidak bisa korosi. Kapal HDPE resistansi terhadap pertumbuhan laut dan tidak membutuhkan anti fouling. Dalam pengoperasiannya, besarnya getaran yang dihasilkan oleh kapal HDPE berbeda dengan getaran yang dihasilkan oleh kapal baja atau kapal jenis lainnya. Besarnya getaran yang berlebihan pada lambung kapal dapat mengganggu kenyamanan penumpang. Berdasarkan uraian diatas dapat dibuat rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan material HDPE pada kapal SAR (*Search And Rescue*) terkait dengan getaran yang terjadi pada lambung kapal?
2. Bagaimana bentuk frekuensi dari getaran yang terjadi pada lambung kapal?

Solusi dari permasalahan ini merupakan tujuan dari tugas akhir yang akan dikerjakan. Agar pembahasan tidak meluas, maka batasan masalah perlu dilakukan. Pada tugas akhir ini batasan – batasan masalah yang dianalisa diantaranya :

1. Analisa dikhususkan pada kapal SAR (*Search And Rescue*).
2. Analisa dilakukan untuk membandingkan kapal dengan material HDPE (*High Density Polyethilene*) dan kapal dengan material baja.
3. Kapal yang dianalisa berukuran 16 meter.
4. Mesin yang digunakan pada kapal adalah Cummins type QSM11 Waterjet MJP Ultrajet 377.
5. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*).
6. Tidak melakukan pengukuran getaran.
7. Tidak membahas proses pembuatan kapal HDPE.
8. Analisa dilakukan pada lambung kapal.

### 3.2. Studi Literatur

Adalah tahap pencarian referensi yang dijadikan acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Referensi tersebut haruslah berkaitan dengan tema dan pengerjaan skripsi yang akan

dikerjakan. Studi literature dilakukan dengan pengumpulan referensi - referensi mengenai cara menghitung getaran pada lambung kapal, perancangan kapal HDPE dan lain-lain. Literatur yang dibaca berasal dari buku, jurnal, artikel, *website*, *ataupun* tugas akhir sebelumnya sebagai penunjang dasar teori. Sedangkan tempat untuk mencari dan membaca referensi tersebut dilakukan di ruang baca Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), perpustakaan pusat Insititut Teknologi Sepuluh Nopember, laboratorium *Marine Manufacture and Design*, Teknik Sistem Perkapalan, FTK - ITS.

### 3.3. Pengumpulan Data

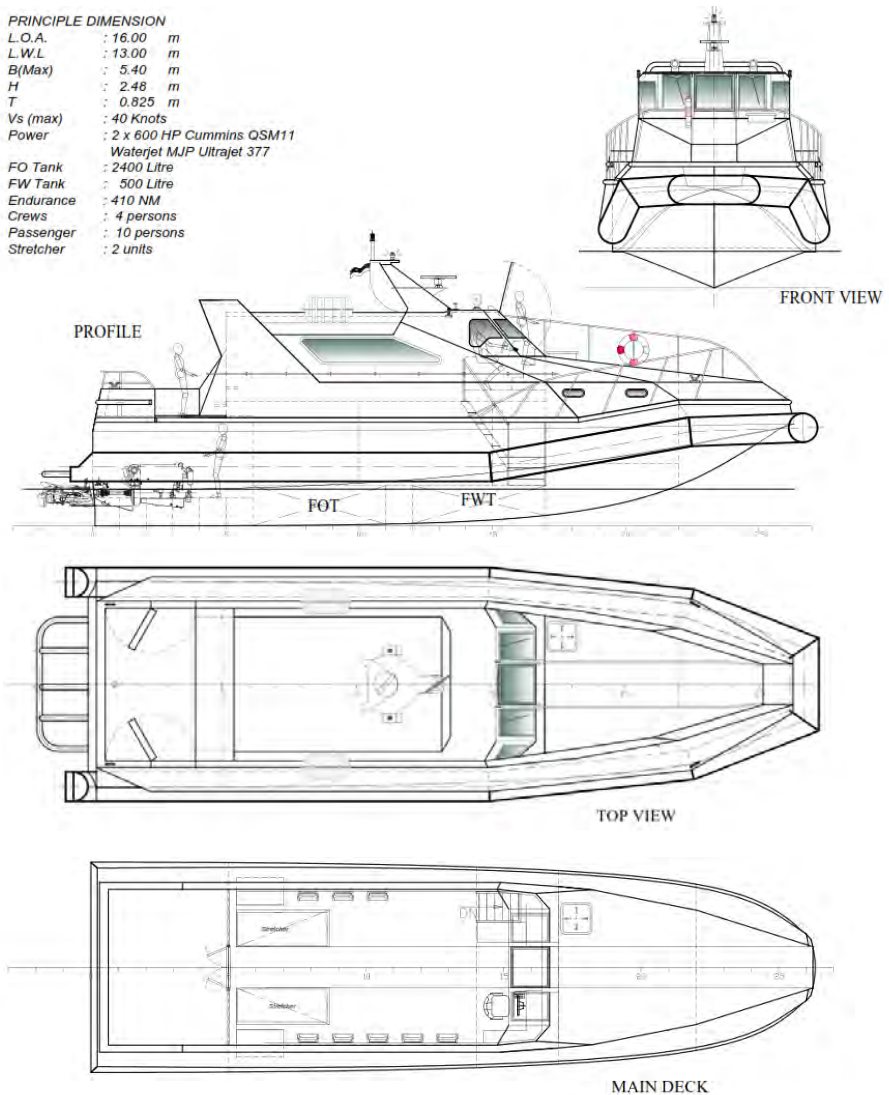
Pengumpulan data diperlukan untuk menunjang proses pengerjaan tugas akhir ini. Pada tahapan ini akan dilakukan penentuan dimensi kapal yang digunakan pada tugas akhir ini sekaligus mencatat data yang dibutuhkan. Data berdasarkan pada kapal boat yang sudah diajukan kepada dosen pembimbing.

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah kapal jenis boat dengan data sebagai berikut :

1. LOA = 16.00 meter
2. LWL = 13.00 meter
3. B = 5.40 meter
4. H = 2.48 meter
5. T = 0.825 m
6. Cb = 0,264
7. Vs = 40 knots
8. Power = 2 x 610 HP Cummins QSM11  
Waterjet MJP Ultrajet 377
9. Rpm = 2300 rpm
10. FO tank = 2400 liter
11. FW tank = 500 liter
12. Endurance = 410 nm
13. Class = BKI

**PRINCIPLE DIMENSION**

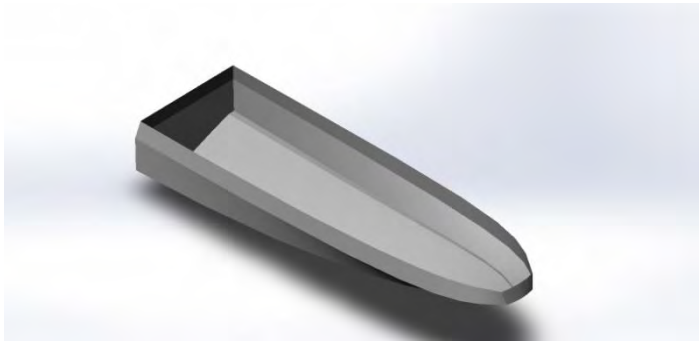
L.O.A.	: 16.00	m
L.W.L	: 13.00	m
B(Max)	: 5.40	m
H	: 2.48	m
T	: 0.825	m
Vs (max)	: 40	Knots
Power	: 2 x 600 HP Cummins QSM11	
	Waterjet MJP Ultrajet 377	
FO Tank	: 2400	Litre
FW Tank	: 500	Litre
Endurance	: 410	NM
Crews	: 4	persons
Passenger	: 10	persons
Stretcher	: 2	units



Gambar 3.1 Rencana Umum Kapal SAR

### 3.4. Perancangan 3D Lambung Kapal

Pada tahap ini dilakukan perancangan model tiga dimensi kapal dengan menggunakan software. Perancangan model tiga dimensi kapal dapat dilakukan dengan menyesuaikan data dari rencana umum. Dalam menganalisa getaran dan *harmonic response*, benda yang akan dianalisa harus solid dan memiliki ketebalan pelat. Ada beberapa software yang dapat digunakan dalam pembuatan tiga dimensi diantaranya yaitu maxsurf, AUTOCAD, Ship Constructor dan lain - lain. Dalam hal ini software yang digunakan dalam membuat model tiga dimensi kapal adalah maxsurf Pro. Dasar pembangunan model pada Maxsurf Pro menggunakan surface (seperti karpet) yang dapat ditarik dan dibentangkan sehingga bisa menjadi model yang utuh. Berikut hasil perancangan model kapal SAR 16 meter dengan menggunakan maxsurf pro.



Gambar 3.2 Model tiga dimensi kapal

### 3.5. Simulasi Model Dengan CFD

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi pada perancangan kapal SAR 16 meter dengan menggunakan CFD. Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai output yang berupa nilai total deformasi, *equivalent stress* dan bentuk dari frekuensi getaran. Metode yang dilakukan untuk simulasi model lambung kapal adalah CFD. Setelah merancang tiga dimensi kapal dan memberi

ketebalan pelat, langkah selanjutnya adalah menyimpan gambar dalam format igs. File tersebut kemudian digenerate maka akan muncul geometrinya. Selanjutnya dapat dilakukan proses meshing untuk membagi model menjadi bagian yang lebih kecil. Meshing tersebut dapat mempengaruhi waktu iterasi pada solver. Semakin kecil ukuran mesh maka semakin lama waktu untuk melakukan running model, tetapi nilai yang dihasilkan semakin mendekati akurat.

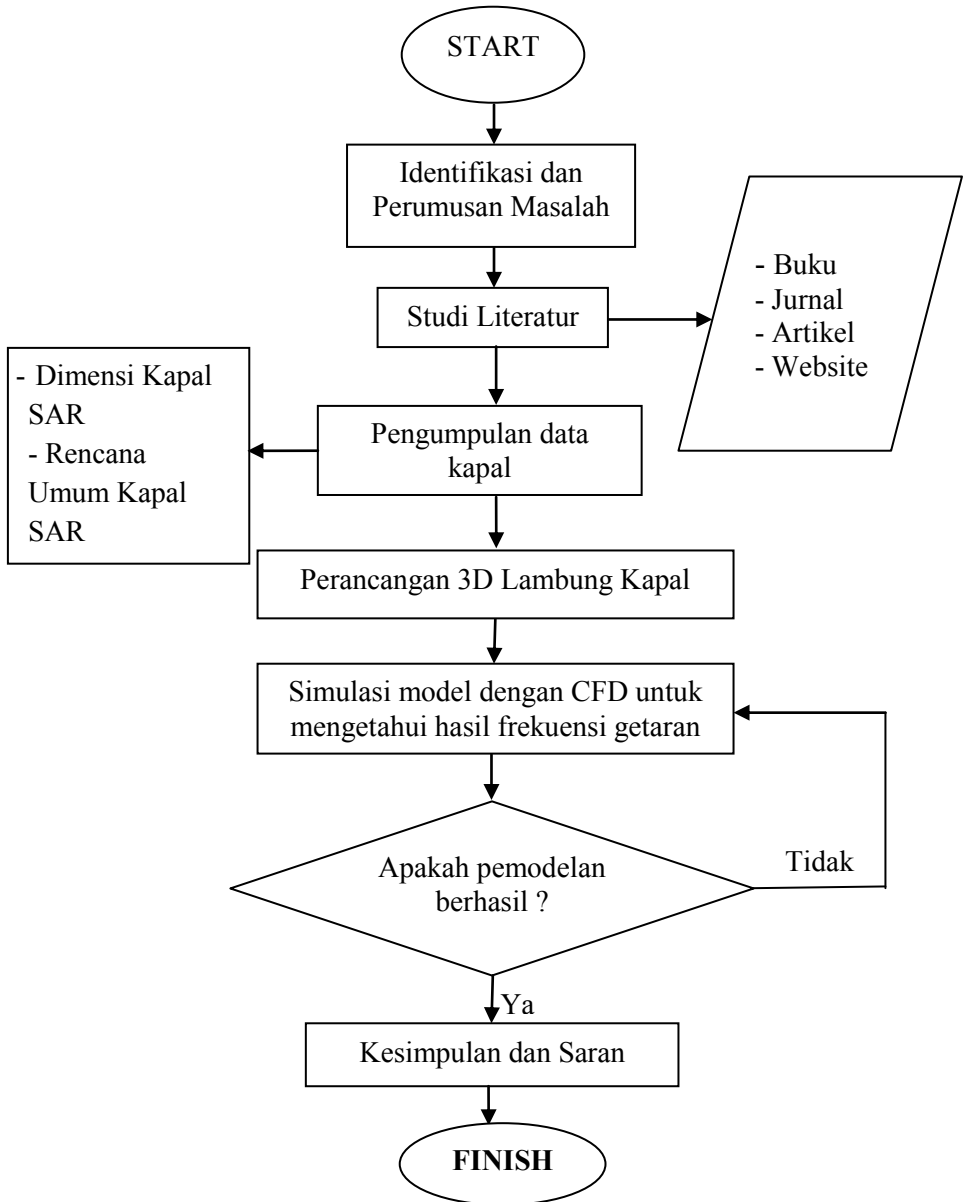
### **3.6. Analisa Hasil Pemodelan**

Setelah dilakukan simulasi pemodelan dengan CFD, langkah selanjutnya yaitu menganalisa getaran dan *harmonic response*. Untuk mengetahui gaya (*force*) pada kapal yang nantinya digunakan untuk mencari nilai getaran dan reaksi harmonik, maka perlu dilakukan analisa laju aliran fluida pada kapal dengan beberapa variasi kecepatan kapal. Setelah mendapatkan gaya (*force*) pada kapal, maka getaran dan reaksi harmonik dapat diketahui. Hasil dari analisa ini adalah output yang menunjukkan bagaimana respon model tersebut terhadap pembebanan yang dilakukan selama proses analisa data yang didapatkan dari proses sebelumnya.

### **3.7. Kesimpulan dan Saran**

Setelah semua tahapan telah dilakukan, selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari hasil perhitungan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan tugas akhir ini yaitu analisa getaran pada kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*).

Secara umum metodologi penelitian dari tugas akhir ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram alir metodologi penelitian

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB IV**

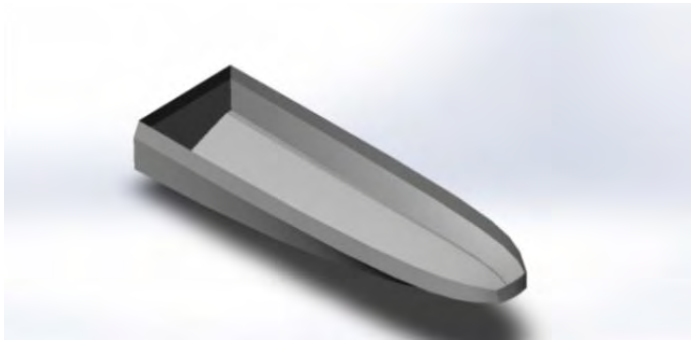
### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Dalam analisa tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah simulasi model dan manual calculation. Simulasi model digunakan untuk mengetahui *vibration* yang terjadi pada kapal, mengetahui nilai dan bentuk frekuensi getaran akibat penggunaan material HDPE (*High Density Polyethylene*), serta reaksi harmonik (*harmonic response*) atau *equivalent stress*. Data yang harus dimiliki untuk bisa mengerjakan tugas akhir ini adalah dimensi kapal dan gambar rencana umum. Dalam penggambaran model tiga dimensi kapal, harus menyesuaikan gambar rencana umum. Ada beberapa macam software yang dapat digunakan untuk menggambar tiga dimensi kapal, diantaranya yaitu autocad, ship constructor, maxsurf pro, dan lain-lain. Pada tugas akhir ini, perancangan tiga dimensi kapal dilakukan dengan menggunakan maxsurf pro. Kapal yang digambar dengan menggunakan maxsurf pro belum memiliki ketebalan pelat dan masih dalam bentuk surface, sehingga perlu dilakukan penambahan pelat dan mengubah kapal menjadi bentuk solid atau pejal. Dalam hal ini, software yang digunakan untuk memberi ketebalan pada pelat dan menyempurnakan gambar menjadi bentuk solid adalah *solidworks*. Sedangkan simulasi model dilakukan dengan menggunakan software CFD.

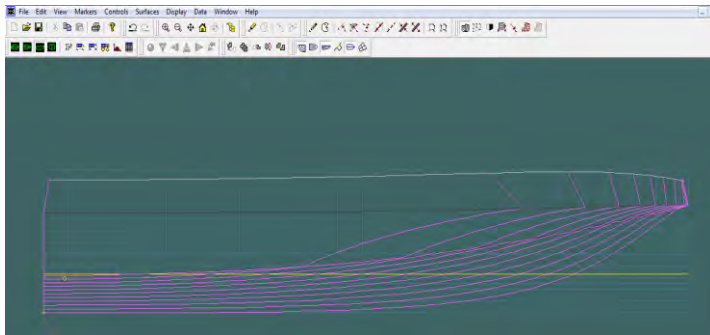
#### **4.1. Perancangan 3D Lambung Kapal**

Kapal yang digunakan dalam analisa tugas akhir ini adalah jenis kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*) yang memiliki panjang keseluruhan (Loa) 16 meter, lebar kapal 5,40 meter, tinggi 2,48 meter, sarat kapal 0,825 meter, dan Cb kapal sebesar 0,264. Kecepatan maksimal kapal 40 knots. Kapal jenis HDPE ini menggunakan mesin Cummins type QSM11 waterjet MJP Ultrajet 377 dengan daya mesin sebesar 600 HP yang berjumlah dua buah. Kapal

didesain dengan kapasitas angkut penumpang sebanyak 14 orang beserta crew kapal. Untuk mempermudah penggambaran tiga dimensi kapal, maka penggambaran dilakukan dengan menggunakan software maxsurf pro. Kapal yang dirancang menyesuaikan data rencana umum (*general arrangement*). Data yang diinput pada maxsurf adalah panjang kapal, lebar kapal, tinggi kapal dan sarat kapal. Setelah data dimasukkan kemudian dilakukan pembagian section, station dan water line seperti pembuatan *lines plan* pada autocad. Berikut adalah hasil penggambaran bentuk lambung kapal dengan menggunakan maxsurf pro.



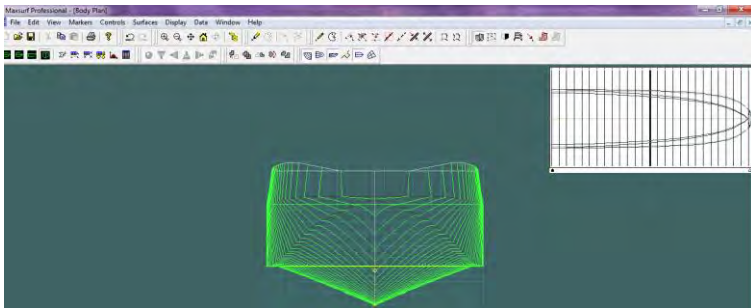
Gambar 4.1 Bentuk kapal dengan software maxsurf



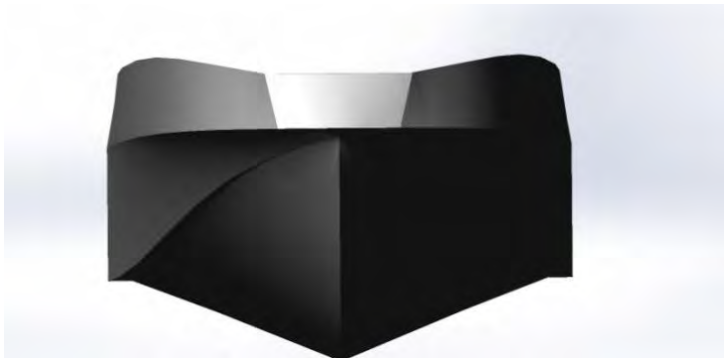
Gambar 4.2 *sheer plan* kapal dengan software maxsurf



Gambar 4.3 Bentuk Kapal Tampak Samping (*sheer plan*)

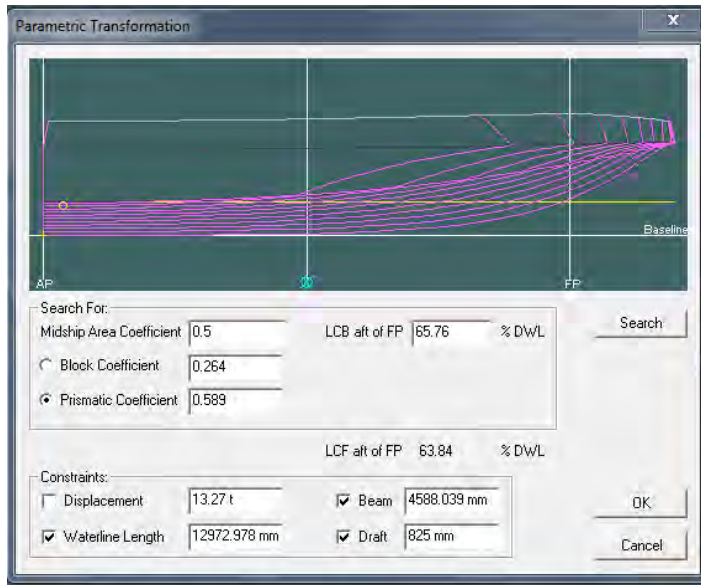


Gambar 4.4 *Body plan* kapal dengan software maxsurf



Gambar 4.5 Bentuk Kapal Tampak Depan (*body plan*)

Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5 merupakan hasil rancangan dengan menggunakan maxsurf pro. Gambar 4.1 menunjukkan bentuk tiga dimensi kapal HDPE dengan panjang 16 meter, gambar 4.2 adalah bentuk *sheer plan* kapal dengan software maxsurf, gambar 4.3 adalah pandangan kapal tampak samping (*side view*), gambar 4.4 adalah bentuk *body plan* dengan software maxsurf, gambar 4.5 adalah pandangan kapal tampak depan (*front view*). Gambar 4.6 merupakan parametric transformation yang dihasilkan pada kapal SAR 16 meter dengan menggunakan maxsurf pro.

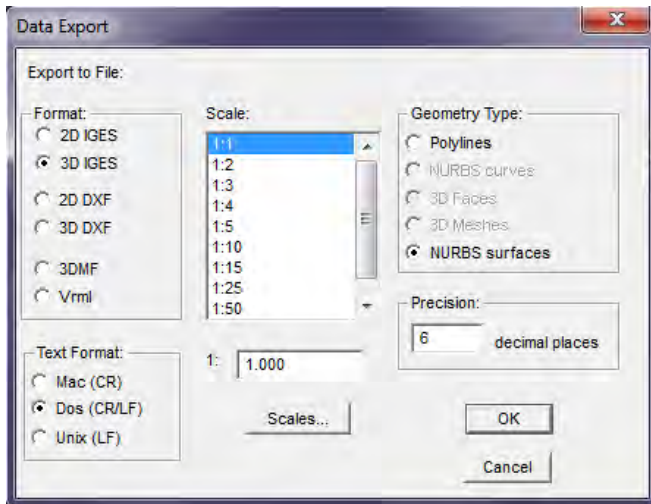


Gambar 4.6 *Parametric transformation* dari maxsurf pro

#### 4.2. *Export File Maxsurf ke Solidworks*

Setelah merancang model 3D lambung kapal HDPE dengan software maxsurf pro, langkah selanjutnya yaitu melakukan *export* file ke dalam bentuk iges. Gambar yang telah dirancang tersebut tidak dapat secara langsung dibuka oleh *solidworks*, file

tersebut harus di-*export* terlebih dahulu ke dalam bentuk iges dengan format 3D iges type geometry NURBS surfaces. Gambar 4.7 adalah cara export file dalam bentuk iges.



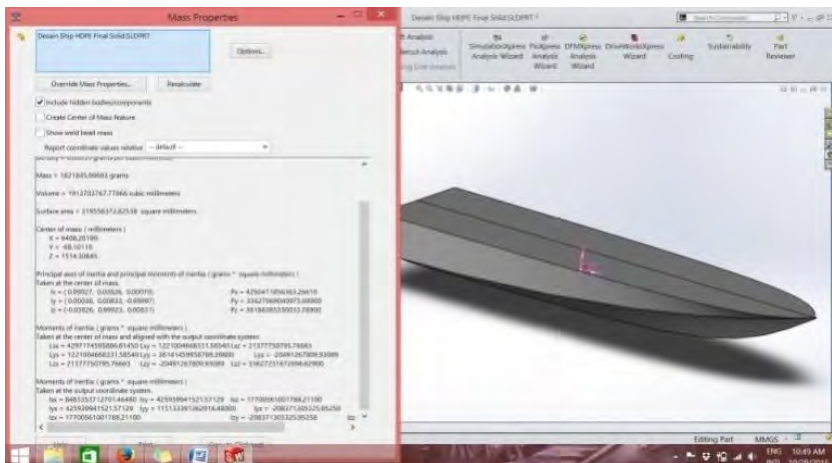
Gambar 4.7 Export File Bentuk Iges

Apabila file sudah disimpan dalam bentuk iges, maka gambar 3D yang sebelumnya digambar pada maxsurf pro dapat dibuka didalam *solidworks* dengan cara *import* file pilih format iges. Gambar 3D lambung kapal yang dirancang dengan maxsurf pro masih dalam bentuk surface. Software *solidworks* digunakan untuk mengubah gambar surface menjadi pejal. Hasil dari gambar *solidworks* adalah bentuk gambar yang pejal atau *solid*.

### 4.3. Penambahan Ketebalan Pelat

Dalam menganalisa getaran, benda yang dianalisa harus memiliki ketebalan. Pada kapal SAR 16 meter dengan material HDPE, pelat dirancang dengan ukuran 12 mm, baik pelat bagian bawah maupun bagian sisi. Sebelum memberi ketebalan pelat, ditentukan terlebih dahulu material yang digunakan. Karena kapal ini dirancang menggunakan material *High Density Polyethylene*,

maka material yang dipilih adalah *polyethylene*. Cara memberi ketebalan pelat pada *solidworks* yaitu dengan knit surface pilih sketch kemudian convert entities baru dimasukkan ketebalan pelat sebesar 12 mm. Bentuk lambung kapal yang rumit mengakibatkan penambahan ketebalan antara part satu dengan yang lainnya saling berbenturan, sehingga lambung kapal harus disempurnakan lagi dengan *solidworks*. Setelah penambahan ketebalan pelat dan penyempurnaan gambar selesai dilakukan, maka data seperti massa, volume, momen inersia dapat diketahui dengan cara evaluate kemudian pilih *mass properties*. Berikut hasil *mass properties* dari lambung kapal yang dianalisa.

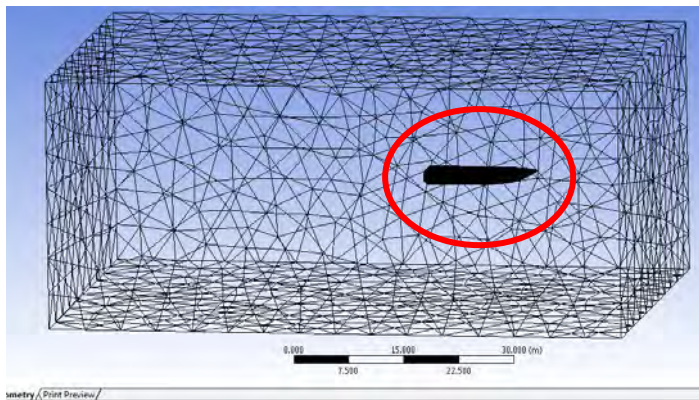


Gambar 4.8 Mass Properties kapal HDPE

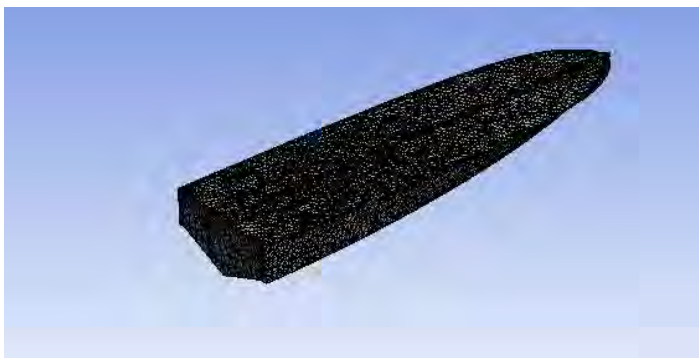
Berat kapal kosong dengan material HDPE yaitu sebesar 1821,84598693 kg dan volume kapal sebesar 1,91370376777866 m<sup>3</sup>. Kapal memiliki luasan area sebesar 319,5563728254 m<sup>2</sup>. Momen Inersia kapal sebesar 425,94 kg m<sup>2</sup>.

#### 4.4. Proses Meshing Kapal

Setelah kapal berbentuk solid dan memiliki ketebalan pelat, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan proses meshing pada CFD. Meshing merupakan pembagian objek menjadi bagian yang lebih kecil. Semakin kecil meshing yang dibuat, maka hasil perhitungan akan lebih teliti. Hasil meshing nantinya memiliki bentuk seperti jaring. Gambar 4.9 adalah hasil meshing kapal SAR dengan software CFD.



Gambar 4.9 Proses meshing pada CFD



Gambar 4.10 Detail gambar 4.9

#### 4.5. Analisa Aliran Fluida Menggunakan CFD

Pada tugas akhir ini, dilakukan analisa aliran fluida untuk mengetahui gaya (*force*) yang dihasilkan jika kapal divariasikan kecepatannya. Gaya (*force*) nantinya digunakan untuk analisa getaran dan reaksi harmonik. Pada solver CFD, nilai kecepatan kapal divariasikan sebanyak delapan kali yaitu pada kecepatan 5 knots, 10 knots, 15 knots, 20 knots, 25 knots, 30 knots, 35 knots, dan 40 knots.

Data yang nantinya digunakan dalam analisa getaran dan reaksi harmonik adalah data *force* pada kecepatan kapal 5 knots, 10 knots, 15 knots, 20 knots, 25 knots, 30 knots, 35 knots dan 40 knots pada daerah lambung kapal. Dalam menganalisa aliran fluida, harus memasukkan beberapa part atau domain untuk mendapatkan gaya yang diinginkan. Dalam hal ini domain dibagi menjadi tujuh yaitu lambung kapal, inlet, outlet, langit atas, langit bawah, langit kanan, dan langit kiri. Berikut adalah gaya (*force*) yang dihasilkan pada beberapa variasi kecepatan dengan simulasi dengan CFD.

Tabel 4.1 *force* pada kecepatan 5 knots dan 10 knots

No	Part	Force (N) 5 knots	Force (N) 10 knots
1.	Lambung kapal	4531,14	4599,27
2.	Inlet	$-2,1719 \times 10^{-7}$	$-4,38191 \times 10^{-7}$
3.	Outlet	-129,916	-507,47
4.	Langit atas	0,000171735	0,00126605
5.	Langit bawah	-0,052629	-0,207968
6.	Langit kanan	$2,27923 \times 10^{-7}$	$2,27923 \times 10^{-7}$
7.	Langit kiri	$-2,27923 \times 10^{-7}$	$2,27923 \times 10^{-7}$



Tabel 4.2 *force* pada kecepatan 15 knots dan 20 knots

No	Part	Force (N) 15 knots	Force (N) 20 knots
1.	Lambung kapal	4696,76	4887,37
2.	Inlet	$-2,82463 \times 10^{-6}$	$-8,55697 \times 10^{-7}$
3.	Outlet	10465,4	-2041,19
4.	Langit atas	-108,183	0,00542545
5.	Langit bawah	-41,586	-0,828247
6.	Langit kanan	$2,28328 \times 10^{-7}$	$2,27923 \times 10^{-7}$
7.	Langit kiri	$-2,28443 \times 10^{-7}$	$2,27923 \times 10^{-7}$

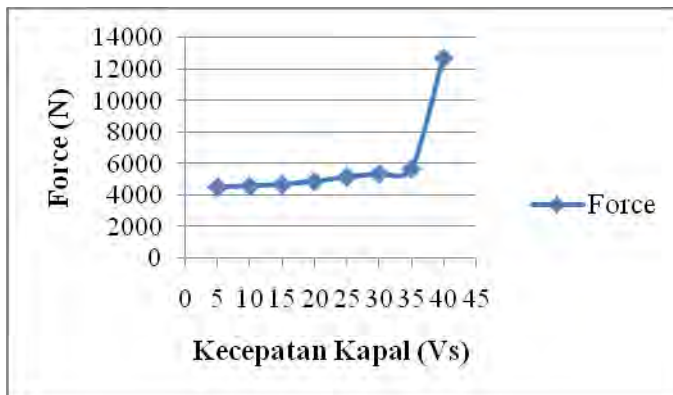
Tabel 4.3 *force* pada kecepatan 25 knots dan 30 knots

No	Part	Force (N) 25 knots	Force (N) 30 knots
1.	Lambung kapal	5170,5	5377,38
2.	Inlet	$0,017655 \times 10^{-6}$	$-1,29267 \times 10^{-6}$
3.	Outlet	8997,05	-4605,46
4.	Langit atas	0,0035654	0,0130313
5.	Langit bawah	-20125,8	-1,85933
6.	Langit kanan	$1,37632 \times 10^{-7}$	$2,27923 \times 10^{-7}$
7.	Langit kiri	$-2,28122 \times 10^{-7}$	- 80,7427

Tabel 4.4 *force* pada kecepatan 35 knots dan 40 knots

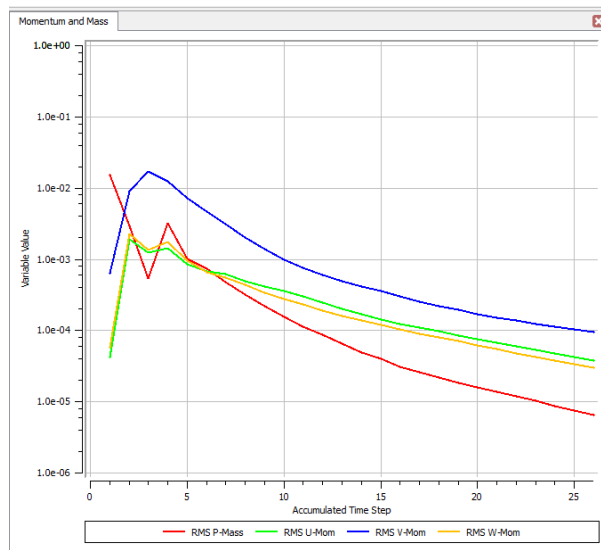
No	Part	Force (N) 35 knots	Force (N) 40 knots
1.	Lambung kapal	5697,86	12741,9
2.	Inlet	$-1,51038 \times 10^{-6}$	-0,011497
3.	Outlet	-6272,15	$-1,35139 \times 10^7$
4.	Langit atas	0,0178868	-9408,5
5.	Langit bawah	-2,52831	-9449,24
6.	Langit kanan	$2,27923 \times 10^7$	$2,27924 \times 10^7$
7.	Langit kiri	$2,27923 \times 10^7$	$-9,2721 \times 10^6$

Data yang telah diperoleh dari hasil simulasi CFD, selanjutnya dibuat grafik perbandingan *Force* (N) Vs kecepatan kapal (knots) pada masing - masing variasi kecepatan kapal. Dalam hal ini bagian yang dianalisa adalah lambung kapal nya saja. Berikut grafik perbandingan kecepatan Vs *Force*.

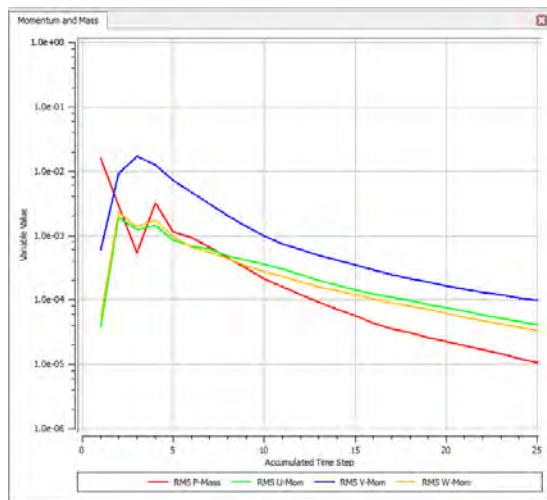


Gambar 4.11 Grafik perbandingan Kecepatan Kapal Vs Force

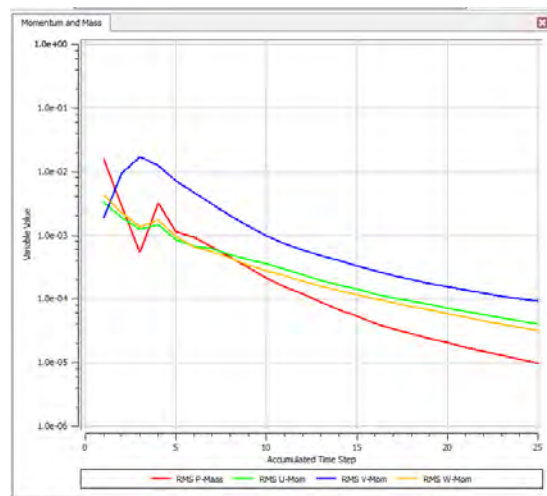
Dari grafik 4.11 menunjukkan nilai *force* lambung kapal pada beberapa variasi kecepatan kapal. Semakin tinggi kecepatan kapal semakin besar *force* yang dihasilkan. Pada kecepatan maksimal kapal yaitu 40 knots, *force* yang dihasilkan sebesar 12741,9 Newton. Nilai tersebut nantinya sebagai inputan dalam melakukan simulasi dalam menganalisa getaran dan reaksi harmonik. Analisa laju aliran fluida yang dilakukan dengan CFD, tidak hanya menghasilkan nilai *force*, tetapi juga *torque*, *mass flow* dan lain sebagainya. Setelah proses running selesai, output yang dihasilkan berupa grafik momentum and mass yang menunjukkan gerakan fluida saat terjadi gaya - gaya pada partikelnya pada setiap elemen fluida. Berikut adalah grafik momentum and mass yang dihasilkan pada masing - masing variasi kecepatan kapal.



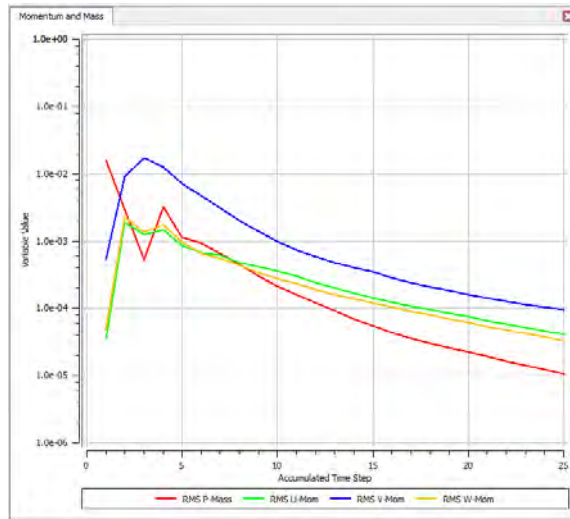
Gambar 4.12 grafik momentum and mass pada kecepatan 5 knots



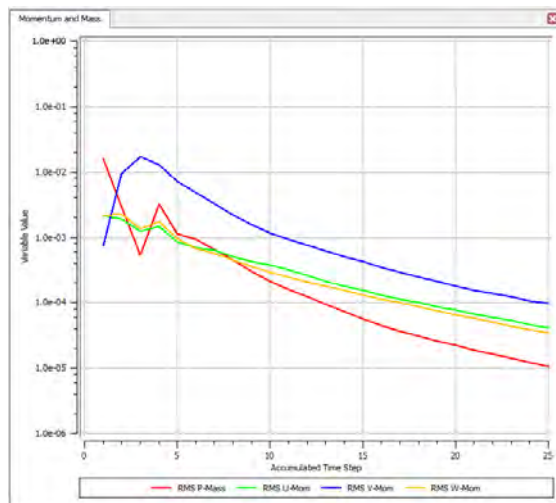
Gambar 4.13 grafik momentum and mass pada kecepatan 10 knots



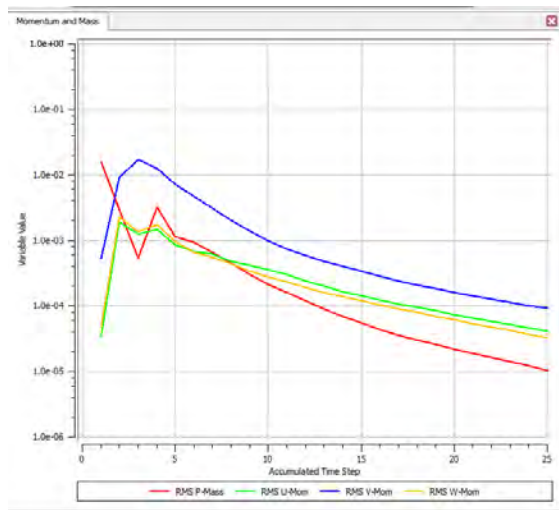
Gambar 4.14 grafik momentum and mass pada kecepatan 15 knots



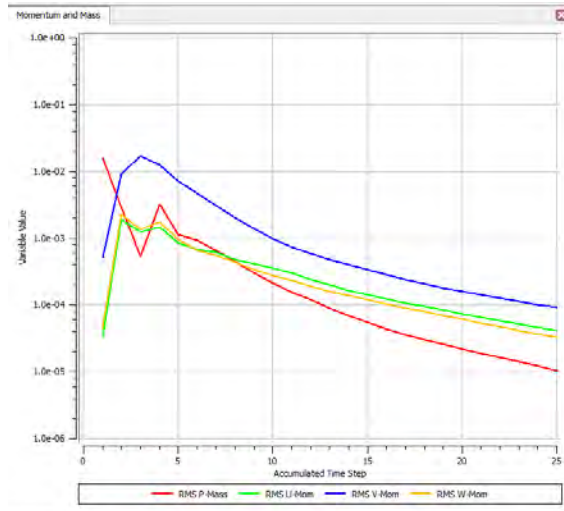
Gambar 4.15 grafik momentum and mass pada kecepatan 20 knots



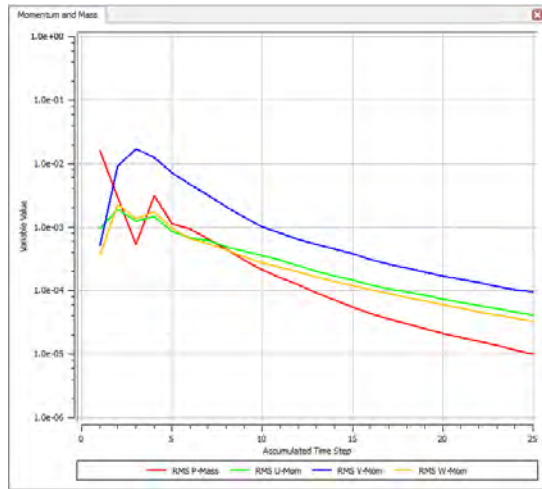
Gambar 4.16 grafik momentum and mass pada kecepatan 25 knots



Gambar 4.17 grafik momentum and mass pada kecepatan 30 knots



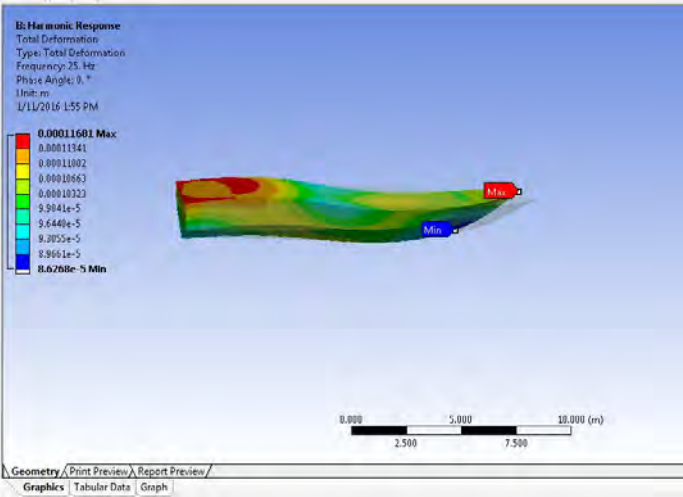
Gambar 4.18 grafik momentum and mass pada kecepatan 35 knots



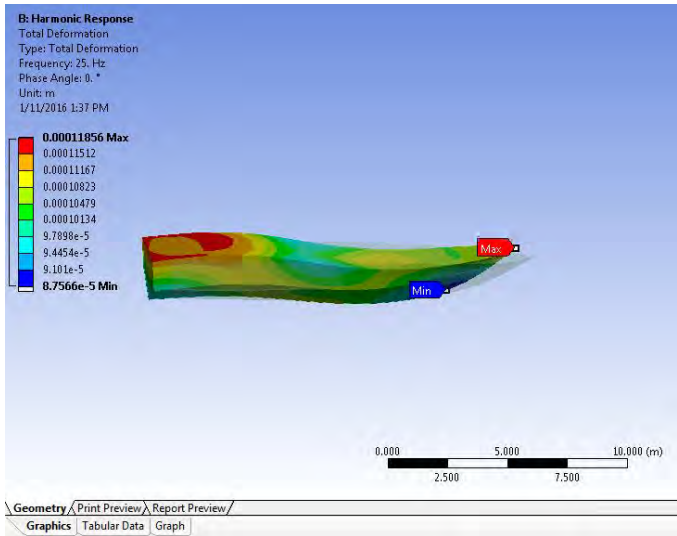
Gambar 4.19 grafik momentum and mass pada kecepatan 40 knots

#### 4.6. Hasil Getaran dan Reaksi Harmonik dengan CFD

Hasil analisa laju aliran fluida pada CFD menunjukkan nilai *force* pada masing - masing kecepatan kapal. Dari hasil simulasi inilah nantinya dapat digunakan untuk simulasi model dalam mencari getaran (bentuk frekuensi getaran dan *phase response*) dan reaksi harmonik lambung kapal. Analisa getaran perlu dilakukan untuk mengantisipasi kerusakan peralatan akibat putaran mesin agar penumpang dan crew dapat bekerja di kapal dengan nyaman dan aman. Apabila getaran yang terjadi melebihi batas ketentuan minimum, maka dapat menimbulkan kerusakan pada komponen mesin dan menyebabkan kebisingan. Berikut hasil deformasi yang terjadi pada lambung kapal dengan simulasi CFD.

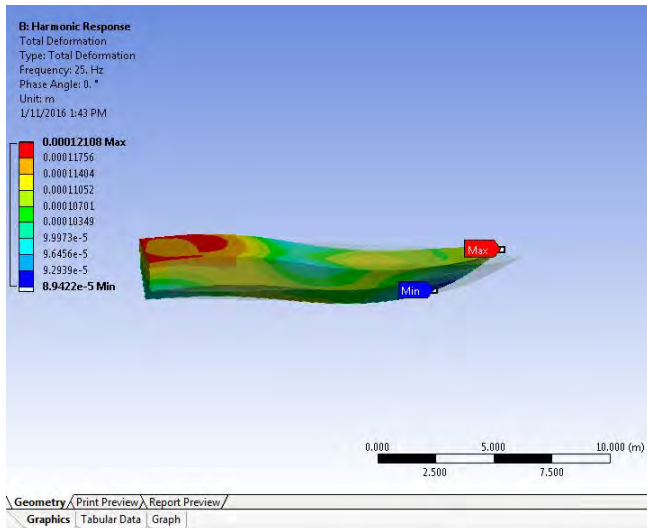


Gambar 4.20 deformasi pada kecepatan 5 knots

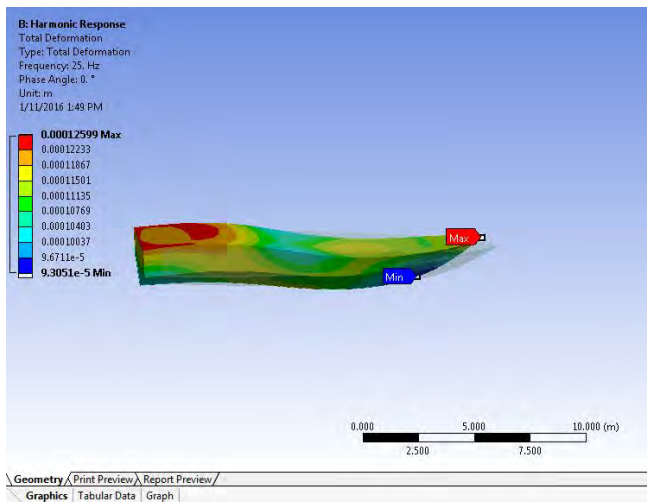


Gambar 4.21 deformasi pada kecepatan 10 knots

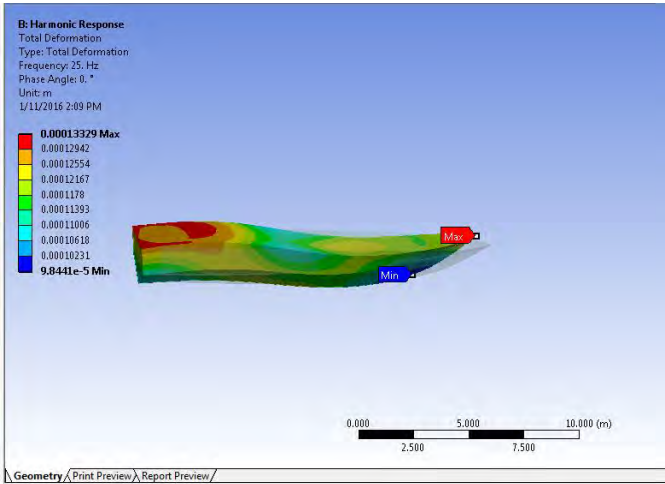




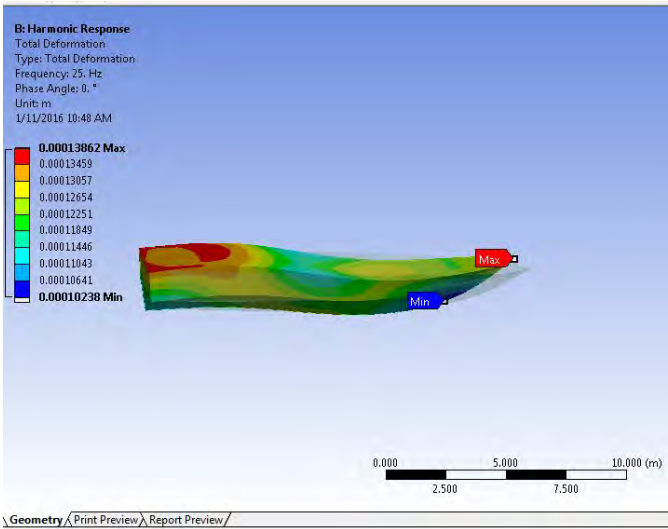
Gambar 4.22 deformasi pada kecepatan 15 knots



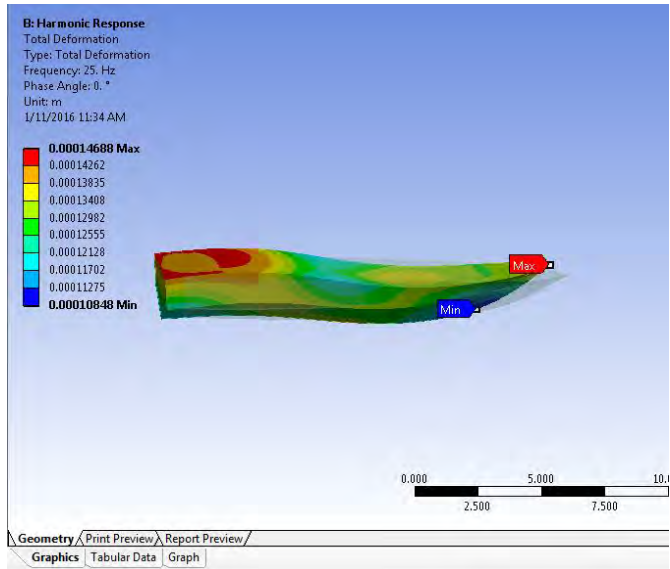
Gambar 4.23 deformasi pada kecepatan 20 knots



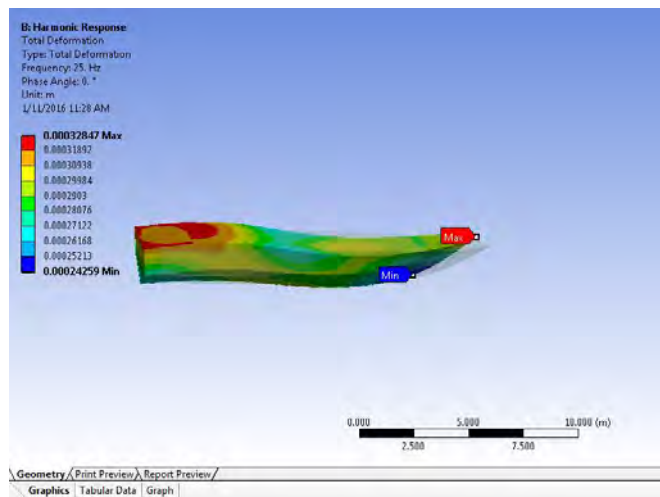
Gambar 4.24 deformasi pada kecepatan 25 knots



Gambar 4.25 deformasi pada kecepatan 30 knots



Gambar 4.26 deformasi pada kecepatan 35 knots

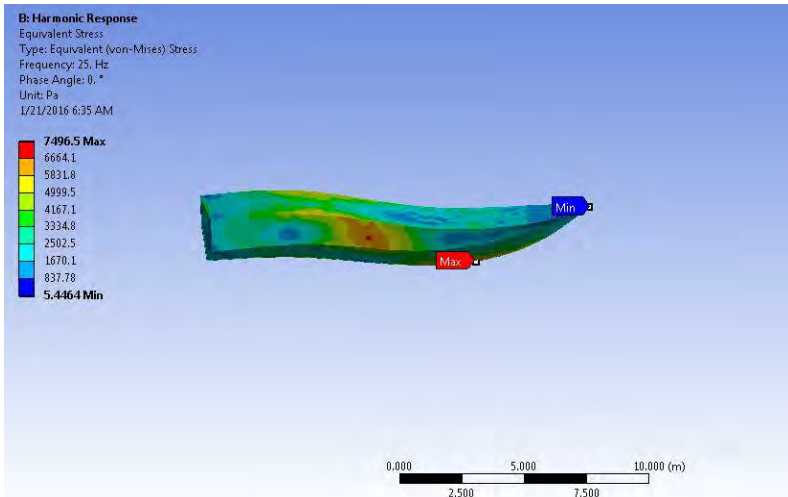


Gambar 4.27 deformasi pada kecepatan 40 knots

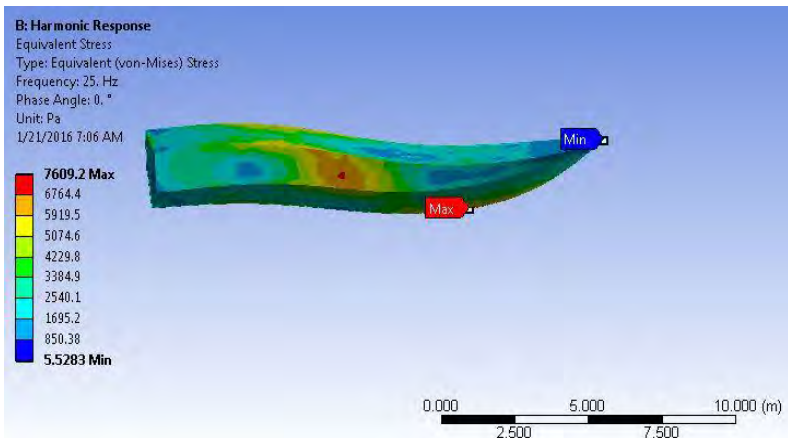
Deformasi adalah perubahan bentuk yang dapat terjadi apabila dikenai gaya. Material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada material, material akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Hasil deformasi pada beberapa variasi kecepatan kapal ditunjukkan dengan perbedaan gradasi warna yang memperlihatkan bagian mana yang mengalami pembebanan minimum dan maksimum. Pada variasi pertama dengan kecepatan kapal 5 knots menunjukkan deformasi tertinggi ditunjukkan dengan warna merah yaitu sebesar 0,00011681 m. Pada variasi kedua dengan kecepatan 10 knots menunjukkan nilai deformasi tertinggi sebesar 0,00011856 m. Variasi ketiga dengan kecepatan 15 knots menunjukkan nilai deformasi tertinggi sebesar 0,00012108 m. Pada variasi keempat dengan kecepatan kapal 20 knots menunjukkan nilai deformasi tertinggi sebesar 0,00012599 m.

Variasi kelima menunjukkan deformasi tertinggi sebesar 0,00013329 m pada kecepatan 25 knots. Pada variasi keenam dengan kecepatan kapal sebesar 30 knots menunjukkan nilai deformasi tertinggi sebesar 0,00013862 m. variasi ketujuh menunjukkan nilai deformasi tertinggi sebesar 0,00014688 m pada kecepatan 35 knots. Pada variasi kedelapan menunjukkan nilai deformasi tertinggi sebesar 0,00032847 m. Semakin tinggi kecepatan kapal semakin besar deformasi yang terjadi. Deformasi terbesar terjadi pada bagian depan dan bagian belakang kapal yang ditunjukkan dengan warna merah.

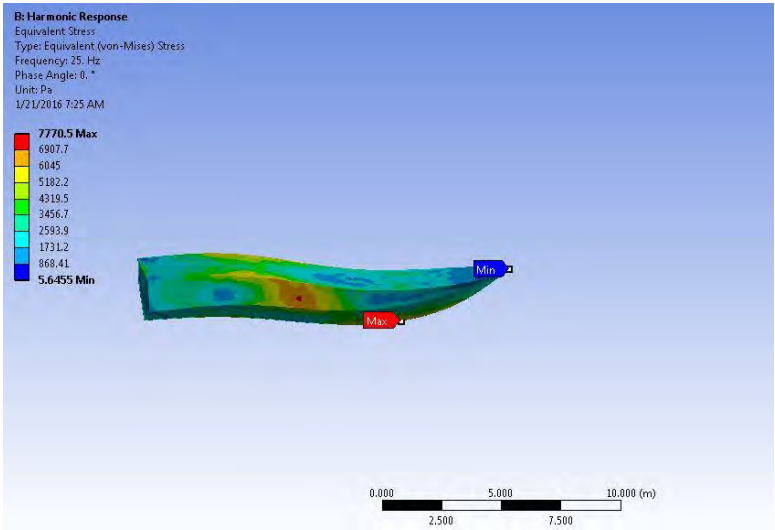
Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan *von mises* pada tegangan luluh (*equivalent stress*) digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan.



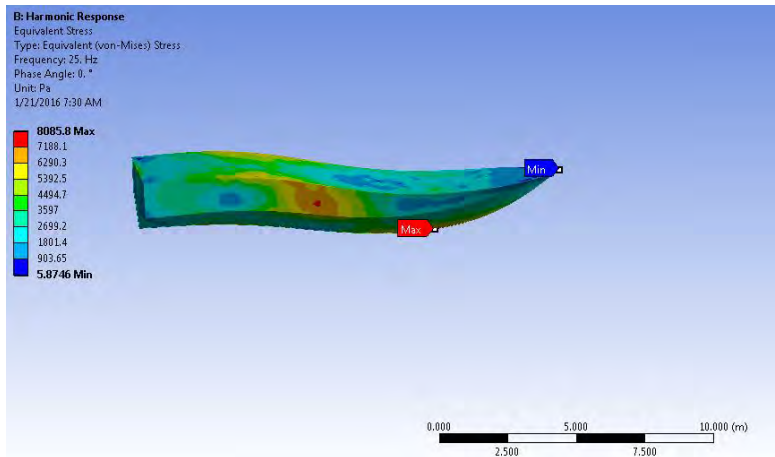
Gambar 4.28 *equivalent stress* pada kecepatan 5 knots



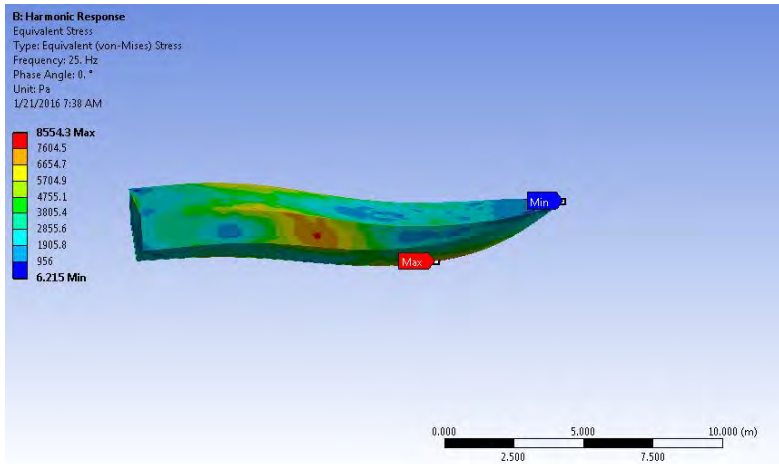
Gambar 4.29 *equivalent stress* pada kecepatan 10 knots



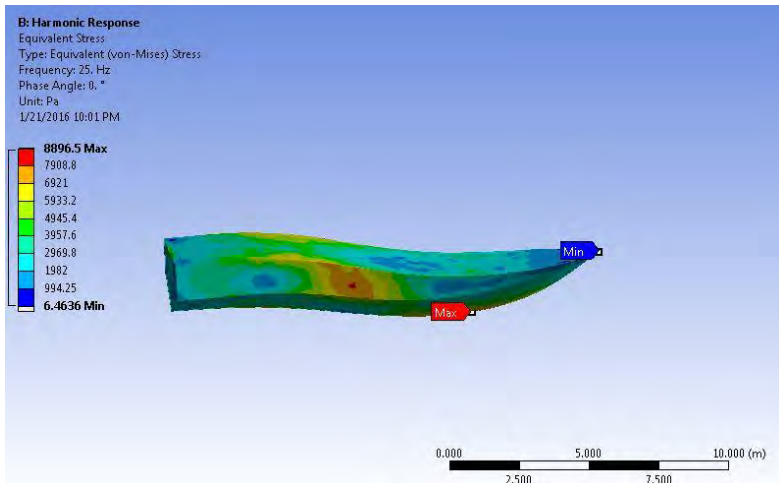
Gambar 4.30 *equivalent stress* pada kecepatan 15 knots



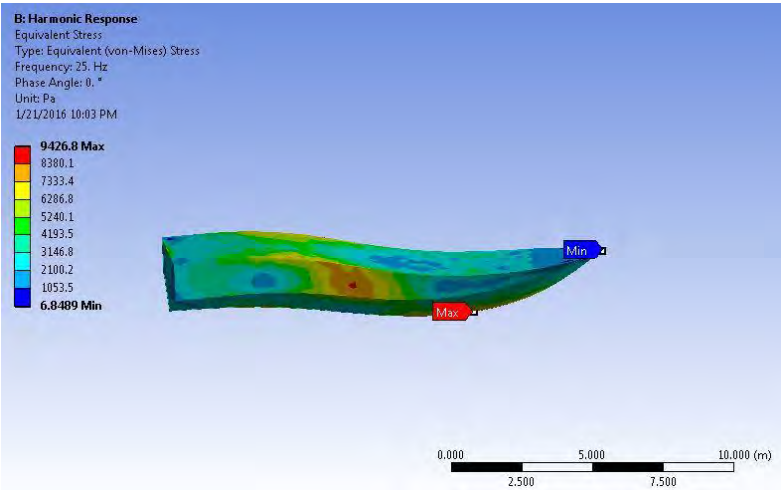
Gambar 4.31 *equivalent stress* pada kecepatan 20 knots



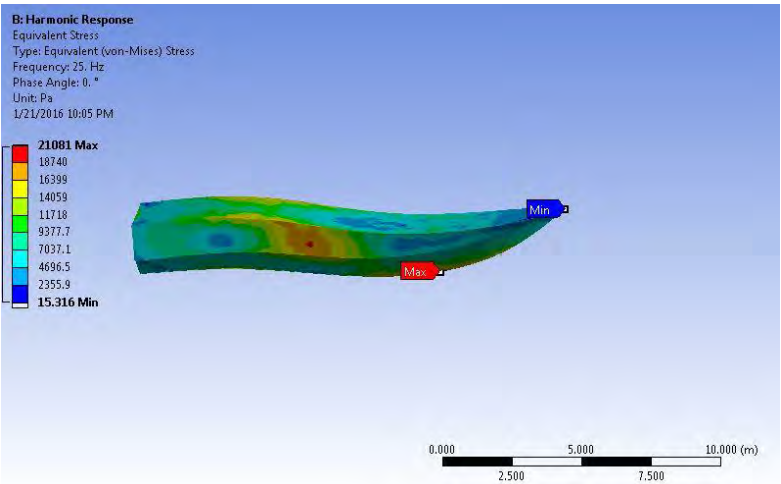
Gambar 4.32 *equivalent stress* pada kecepatan 25 knots



Gambar 4.33 *equivalent stress* pada kecepatan 30 knots



Gambar 4.34 *equivalent stress* pada kecepatan 35 knots



Gambar 4.35 *equivalent stress* pada kecepatan 40 knots

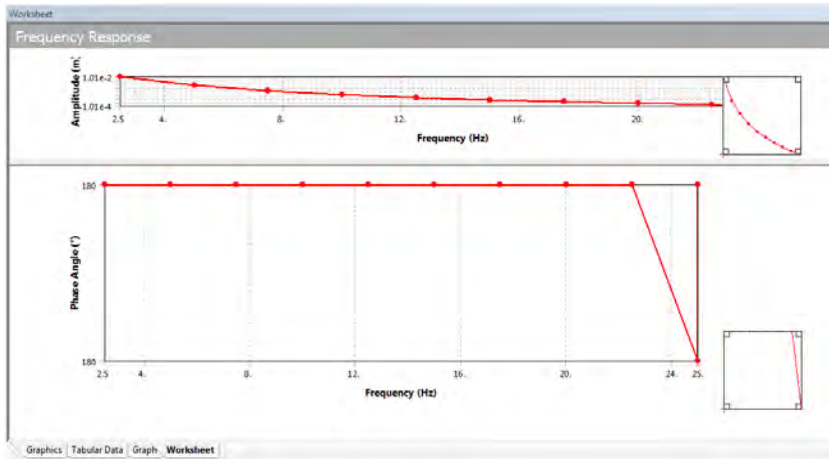


Hasil analisa tegangan atau *equivalent stress* menunjukkan bentuk tidak *streamline* pada lambung kapal. Variasi pertama dengan kecepatan kapal 5 knots pada frekuensi 25 Hz, *equivalent stress* tertinggi ditunjukkan dengan warna merah yaitu sebesar 7496,5 Pa. Pada variasi kedua dengan kecepatan 10 knots menunjukkan *equivalent stress* paling besar adalah 7609,2 Pa. Variasi ketiga dengan kecepatan 15 knots menunjukkan nilai *equivalent stress* maksimal sebesar 7770,5 Pa. Pada variasi keempat dengan kecepatan kapal 20 knots menunjukkan *equivalent stress* tertinggi sebesar 8085,8 Pa.

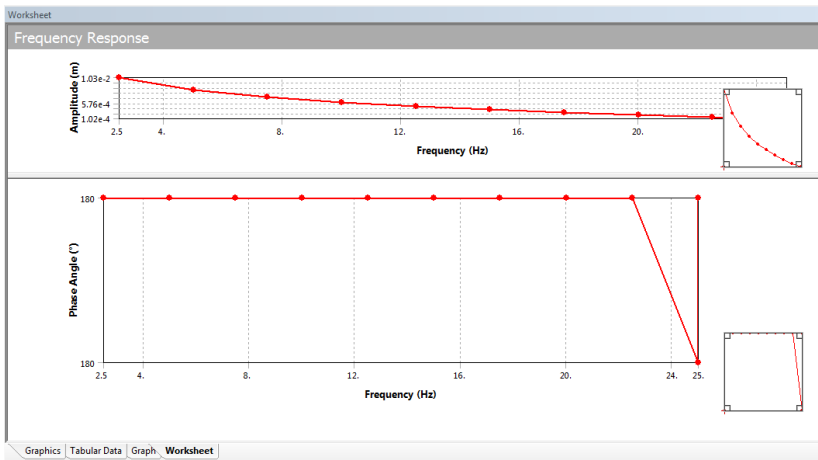
Variasi kelima menunjukkan *equivalent stress* tertinggi sebesar 8554,3 Pa pada kecepatan 25 knots. Pada variasi keenam dengan kecepatan kapal sebesar 30 knots menunjukkan *equivalent stress* maksimal sebesar 8896,5 Pa. Pada variasi ketujuh menunjukkan nilai *equivalent stress* tertinggi sebesar 9426,8 Pa pada kecepatan 35 knots. Variasi kedelapan dengan kecepatan 40 knots menunjukkan nilai *equivalent stress* tertinggi sebesar 21081 Pa.

#### **4.7. Bentuk *Frequency Response* dengan Variasi Kecepatan Kapal**

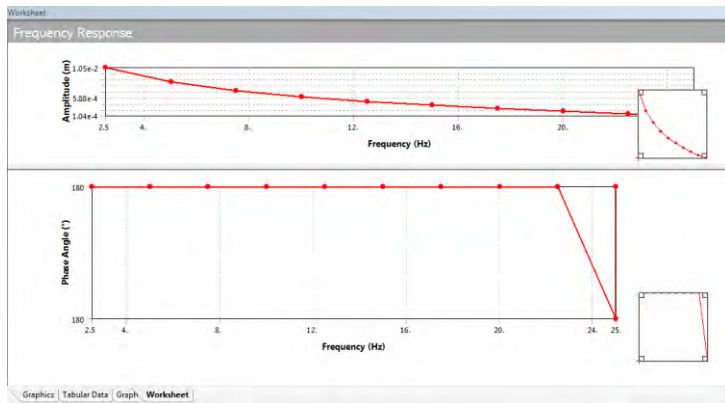
Gambar 4.36 - 4.43 menunjukkan bentuk *frequency response* yang dihasilkan dari simulasi model dengan CFD. *Frequency response* merupakan output dari reaksi harmonik yang terjadi pada lambung kapal. Terdapat delapan grafik *frequency response* dengan delapan variasi kecepatan kapal yaitu *frequency response* pada kecepatan 5 knots, 10 knots, 15 knots, 20 knots, 25 knots, 30 knots, 35 knots, dan 40 knots.



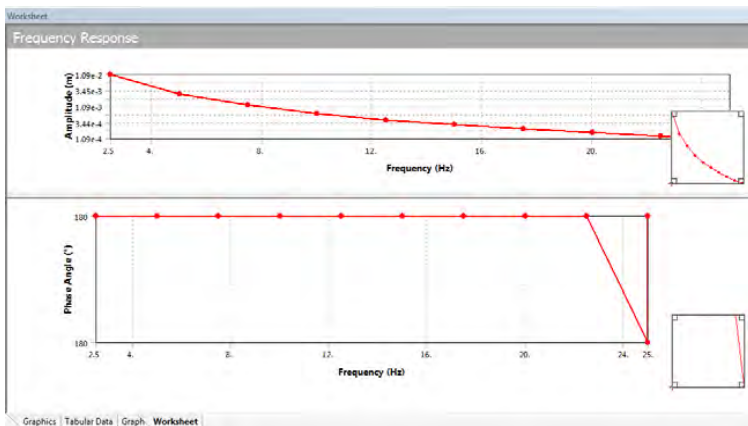
Gambar 4.36 *frequency response* variasi kecepatan 5 knots



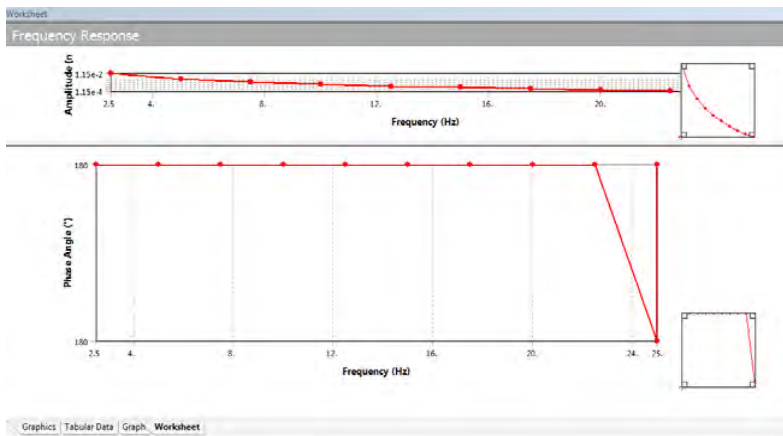
Gambar 4.37 *frequency response* variasi kecepatan 10 knots



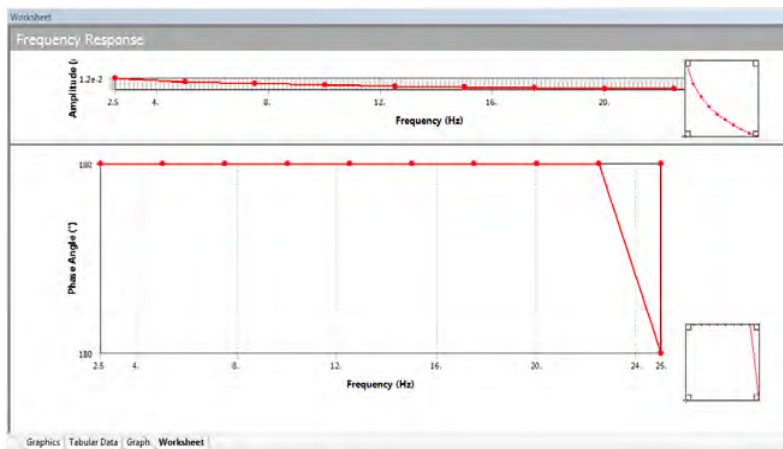
Gambar 4.38 *frequency response* variasi kecepatan 15 knots



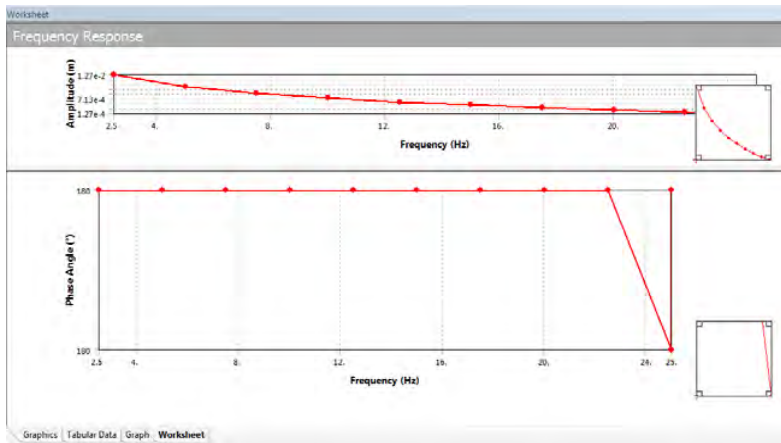
Gambar 4.39 *frequency response* variasi kecepatan 20 knots



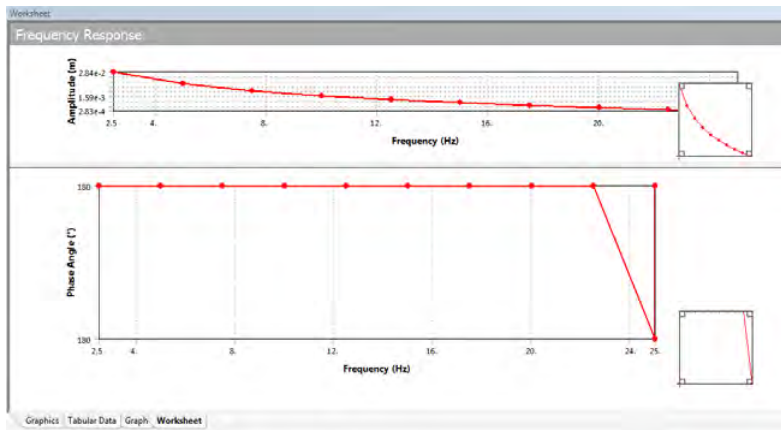
Gambar 4.40 *frequency response* variasi kecepatan 25 knots



Gambar 4.41 *frequency response* variasi kecepatan 30 knots



Gambar 4.42 *frequency response* variasi kecepatan 35 knots



Gambar 4.43 *frequency response* variasi kecepatan 40 knots

Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan terjadinya penurunan amplitudo seiring kenaikan frekuensi. Pada kecepatan kapal 5 knots menunjukkan nilai amplitudo terbesar terjadi pada frekuensi 2,5 Hz sebesar 0,971 m. pada variasi kedua dengan kecepatan kapal 10 knots nilai amplitudo tertinggi sebesar 0,0103 m. pada kecepatan 15 knots nilai amplitudo tertinggi sebesar 0,0105 m. Variasi keempat dengan kecepatan kapal 20 knots menunjukkan amplitudo tertinggi sebesar 0,0109 m. Pada kecepatan kapal 25 knots, nilai amplitudo tertinggi sebesar 0,0115 m. Variasi keenam menunjukkan nilai amplitudo tertinggi sebesar 0,012 m. pada variasi ketujuh menunjukkan nilai amplitudo tertinggi sebesar 0,0127 m. Pada kecepatan kapal 40 knots nilai amplitudo tertinggi sebesar 0,0284 m.

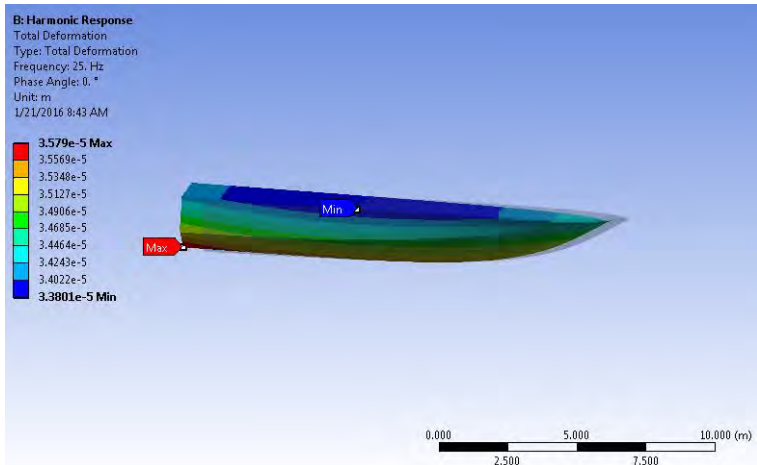
Nilai rms pada masing - masing kecepatan:

1. Pada kecepatan 5 knots sebesar  $971 / 60 = 16,18 \text{ mm/s}$
2. Pada kecepatan 10 knots sebesar  $10,3 / 60 = 0,17 \text{ mm/s}$
3. Pada kecepatan 15 knots sebesar  $10,5 / 60 = 0,175 \text{ mm/s}$
4. Pada kecepatan 20 knots sebesar  $10,9 / 60 = 0,18 \text{ mm/s}$
5. Pada kecepatan 25 knots sebesar  $11,5 / 60 = 0,19 \text{ mm/s}$
6. Pada kecepatan 30 knots sebesar  $12 / 60 = 0,2 \text{ mm/s}$
7. Pada kecepatan 35 knots sebesar  $12,7 / 60 = 0,21 \text{ mm/s}$
8. Pada kecepatan 40 knots sebesar  $28,4 / 60 = 0,47 \text{ mm/s}$

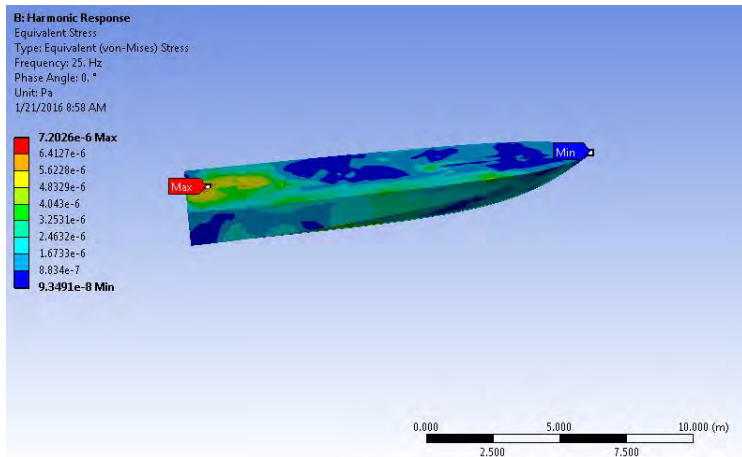
Berdasarkan hasil rms diatas dapat diketahui bahwa variasi kecepatan kapal 5 knots tidak memenuhi kriteria getaran yang diizinkan DNV karena batas minimal amplitudo yang diizinkan adalah 6 mm/s. Pada kecepatan 10 knots sampai 40 knots nilai rms masih dibawah batas minimal yang diizinkan.

#### **4.8. Hasil Analisa Kapal dengan Material *Steel***

Untuk mengetahui perbedaan hasil getaran dan reaksi harmonik pada kapal HDPE dan kapal baja maka perlu dilakukan analisa getaran pada kapal baja. Dalam hal ini kapal yang dianalisa pada kecepatan maksimum 40 knots dengan ukuran yang sama dengan kapal HDPE. Berikut hasil simulasi kapal dengan material baja menggunakan software CFD.



Gambar 4. 44 deformasi pada kapal dengan material *steel*



Gambar 4. 45 *equivalent stress* pada kapal dengan material *steel*

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa deformasi maksimal pada lambung kapal dengan material *steel* sebesar 0,00003579 m.

Sedangkan material HDPE total deformasi yang terjadi pada lambung kapal sebesar 0,00032847 m pada ukuran dan kecepatan kapal yang sama. Untuk nilai *equivalent stress* pada kapal baja menunjukkan nilai sebesar 0,00000702026 Pa. nilai tersebut sangat rendah dibandingkan dengan kapal HDPE dengan ukuran dan kecepatan kapal yang sama yaitu sebesar 21081 Pa. Hal tersebut menunjukkan bahwa kapal dengan material HDPE memiliki deformasi dan *equivalent stress* yang lebih tinggi dibandingkan kapal dengan material *steel*.

#### 4.9. Perhitungan Getaran

Lambung kapal diasumsikan memiliki damping yang proporsional dan menalami pengurangan amplitudo ( $\Theta$ ) sebesar 60 % dari satu kali osilasi. Sehingga dapat dicari koefisien aktual damping.

$$\ln (\Theta_1/\Theta_2) =$$

Untuk 1 osilasi,  $m = 1$  dan  $\Theta_1 = 100\%$   $\Theta_2 = 40\%$ , maka  $\Theta_1/ \Theta_2 = 2,5$ . Sehingga :

$$\ln (\Theta_1/\Theta_2) =$$

$$\ln(100/40) =$$

$$\ln (2,5) = \frac{2\pi\delta m}{\sqrt{1-\delta^2}}$$

$$0,916 = \frac{2\pi\delta m}{\sqrt{1-\delta^2}}$$



$$\begin{aligned}
 \frac{(2\pi\delta m)^2}{1-\delta^2} &= 0,839 \\
 \frac{39,44\delta^2}{1-\delta^2} &= 0,849 \\
 46,95\delta^2 &= 1-\delta^2 \\
 \delta^2 &= 0,021 \\
 \delta &= 0,145
 \end{aligned}$$

Perhitungan Frekuensi Natural

$$\begin{aligned}
 f_n^2 &= \frac{Wh}{J} \\
 &= \frac{1821,84 \times 3,096}{425,94} \\
 f_n^2 &= 13,24 \text{ Hz} \\
 f_n &= \sqrt{13,24} \\
 &= 3,639 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Jadi frekuensi natural kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*) sebesar 3,639 Hz.

Frekuensi dumping (f) sebesar :

$$\begin{aligned}
 f &= f_n (\sqrt{1-\delta^2}) \\
 &= 3,639 (\sqrt{1-(0,021025^2)}) \\
 &= 3,6005 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan mengenai getaran pada kapal SAR (*Search And Rescue*) dengan material HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan menggunakan software CFD maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kapal SAR yang menggunakan material HDPE memiliki properties seperti berikut :
  - Kapal HDPE memiliki density sebesar  $950 \text{ kg/m}^3$
  - Berat kapal kosong sebesar 1821,845 kg
  - Surface Area sebesar  $319,556 \text{ m}^2$
  - Momen Inertia kapal sebesar  $425,94 \text{ kg.m}^2$
2. Dari Hasil Simulasi Model dengan CFD
  - Pada beberapa model variasi kecepatan kapal yang dilakukan pada lambung kapal, nilai force tertinggi terjadi pada kecepatan 40 knots yaitu sebesar 12741,9 Pa.
  - Deformasi tertinggi sebesar 0,00032847 m pada kecepatan 40 knots.
  - Tegangan (*equivalent stress*) tertinggi terjadi pada variasi kedelapan (kecepatan 40 knots) dengan nilai 21081 Pa.
  - Amplitudo tertinggi terjadi pada kecepatan 5 knots dengan nilai amplitudo sebesar 0,971 m.
3. Tegangan terbesar pada lambung kapal terjadi pada bagian bawah lambung kapal. Akibat pembebanan 12741,9 Pa, terjadi tegangan (*equivalent stress*) sebesar 21081 Pa.
4. Frekuensi natural pada kapal sebesar 3,639 Hz
5. Pada kecepatan kapal 5 knots nilai rms melebihi batas yang diizinkan DNV, pada kecepatan 10 knots sampai 40 knots

nilai rms dibawah accepting criteria DNV sehingga getaran yang terjadi pada lambung kapal masih dianggap aman.

## **5.2. Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

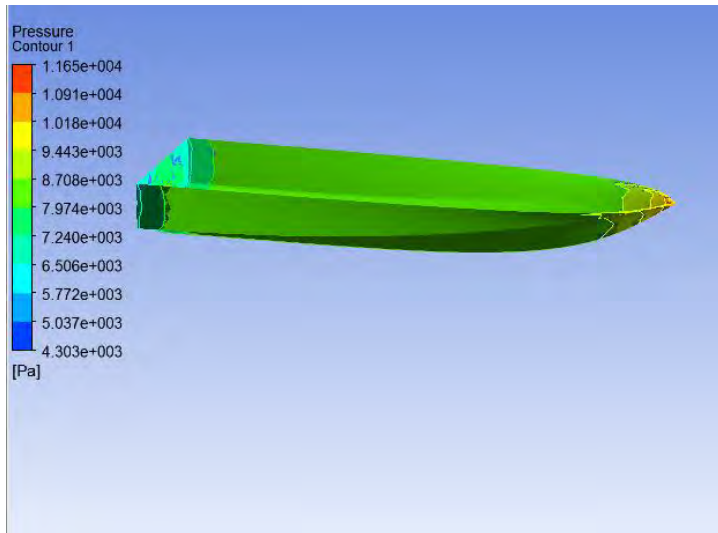
1. Variasi model perlu dilakukan untuk mengetahui bentuk *frequency response* dari beberapa model.
2. Perlu dilakukan pengukuran getaran secara langsung untuk mengetahui validasi antara simulasi dengan kenyataan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

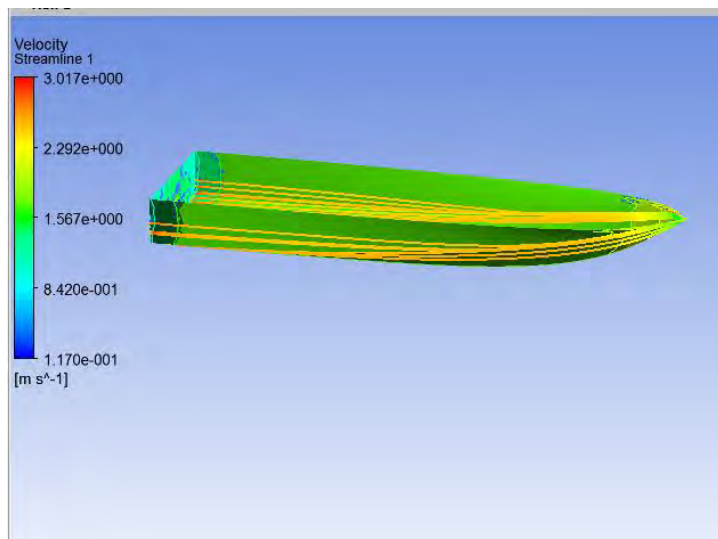
- [1] Mobley, R. Keith. 1999. *Root Cause Failure Analysis*.
- [2] Kjær, Brüel. 1998. *Introduction to Shock And Vibration*.
- [3] Hamid Dr. Abdul. 2012. *Praktikal Vibrasi Mekanik Teori dan Praktik*. Edisi Pertama. Yogyakarta.
- [4] Fanani, Farid Yanuar. 2012. *Analisa getaran pondasi mesin kapal tugboat mengacu pada standart DNV*. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya. Tugas Akhir.
- [5] Dan B. Margitu. 2001. *Mechanical Engineer's Handbook. Department of Mechanical Engineering. Auburn University*
- [6] Det Norske Veritas. 2011. *Rules For Classification of Ship New Building Vibration Class*. Chapter 15.
- [7] Cyril M. Harris. 2010. *Harris' Shock And Vibration Handbook*. 5<sup>th</sup> Edition. Columbia University. New York.
- [8] Smith J. Derek. 2003. *Gear Noise And Vibration*. Second Edition. Cambridge University.
- [9] Pauling J. Randolph. 2010. *The Principle Of Nacal Architerture Series*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Jersey City.
- [10] *American Bureau of Shipping*. 2006. *Guidance Notes On Ship Vibration*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

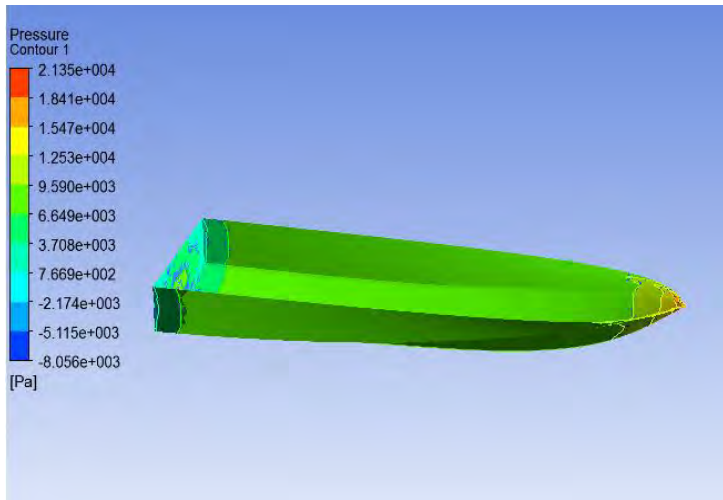
## 1. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 5 knots



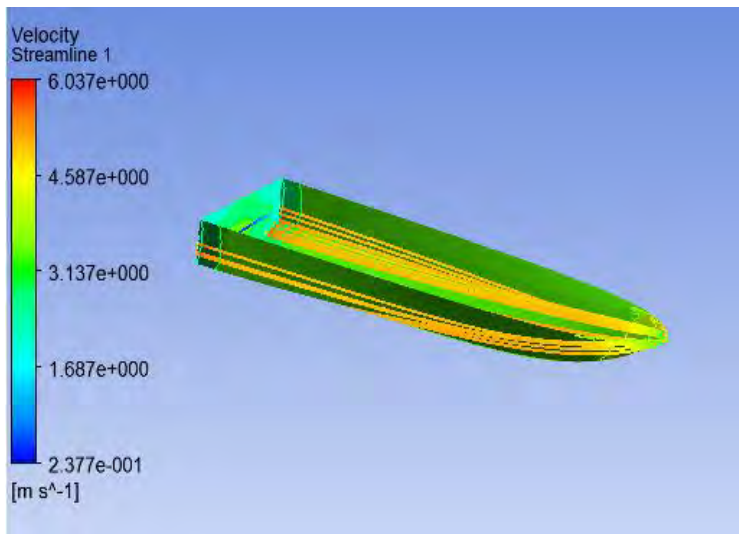
## 2. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 5 knots



### 3. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 10 knots

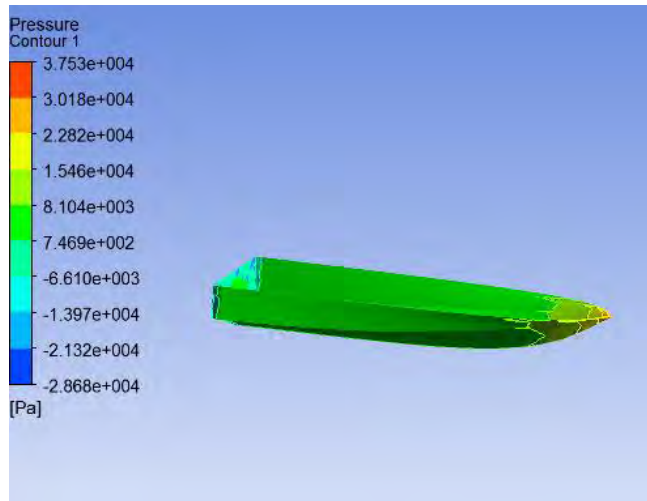


### 4. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 10 knots

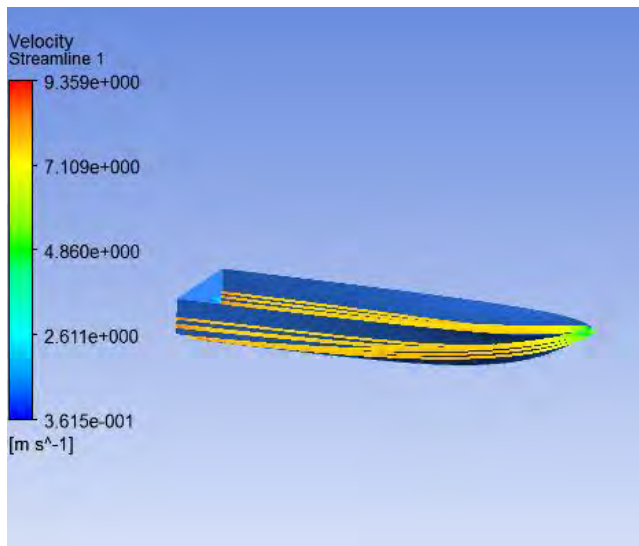




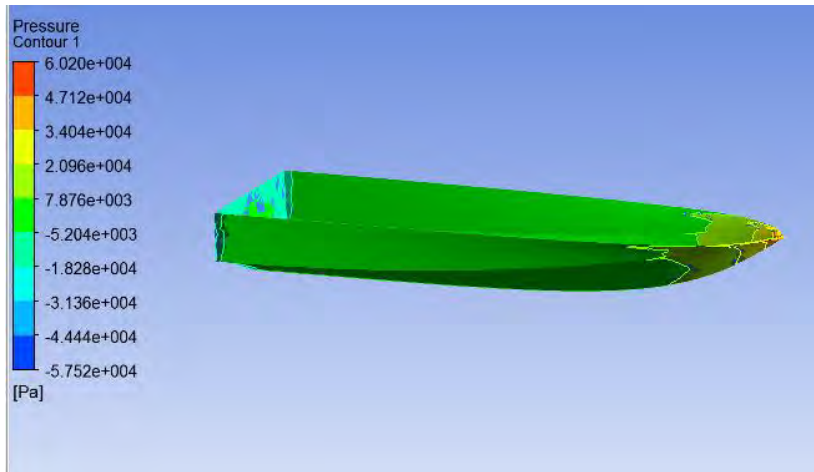
5. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 15 knots



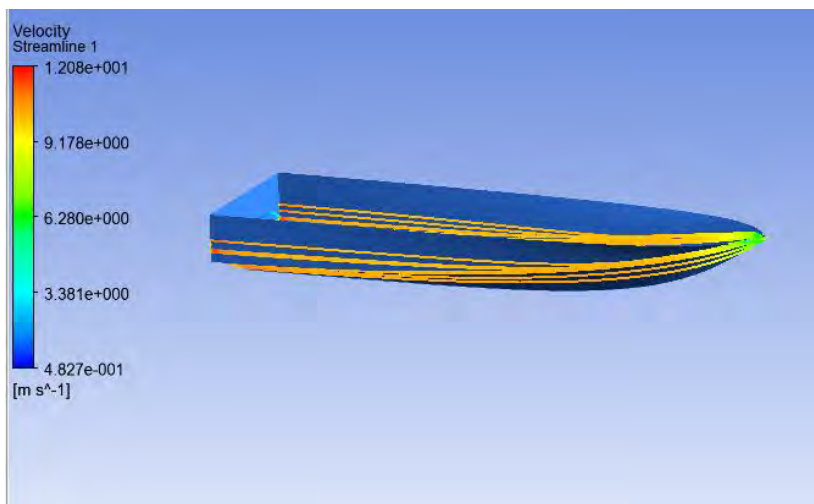
6. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 15 knots



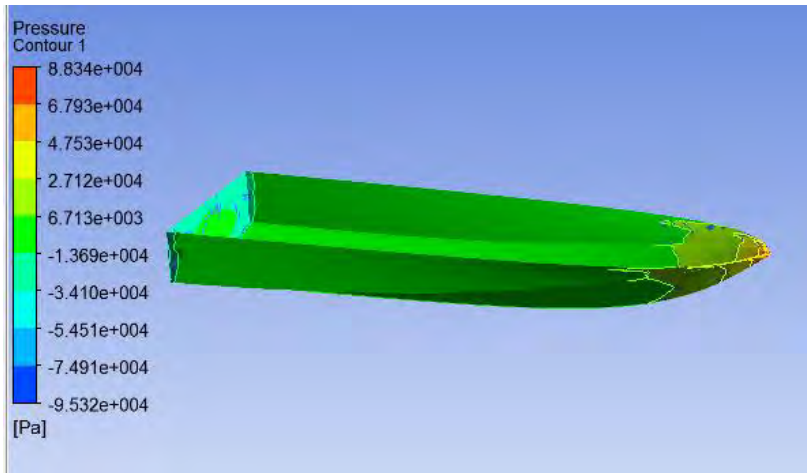
## 7. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 20 knots



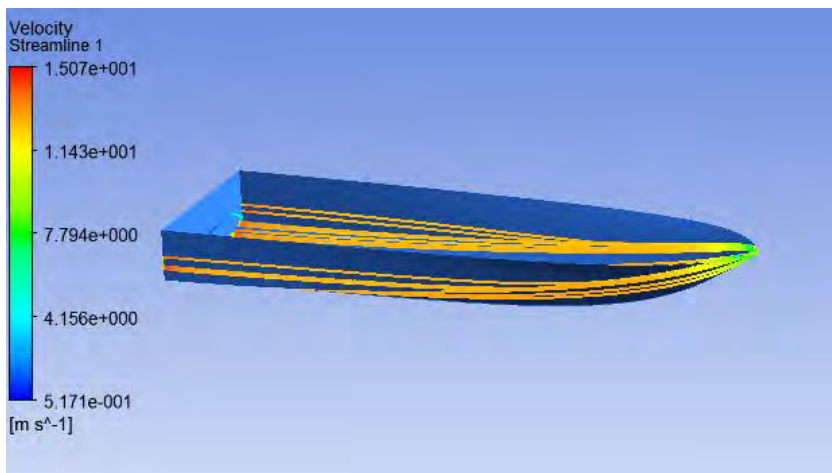
## 8. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 20 knots



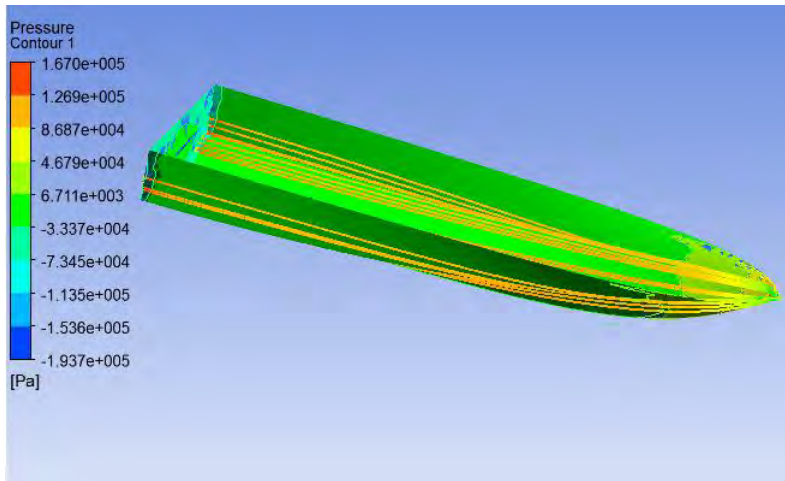
## 9. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 25 knots



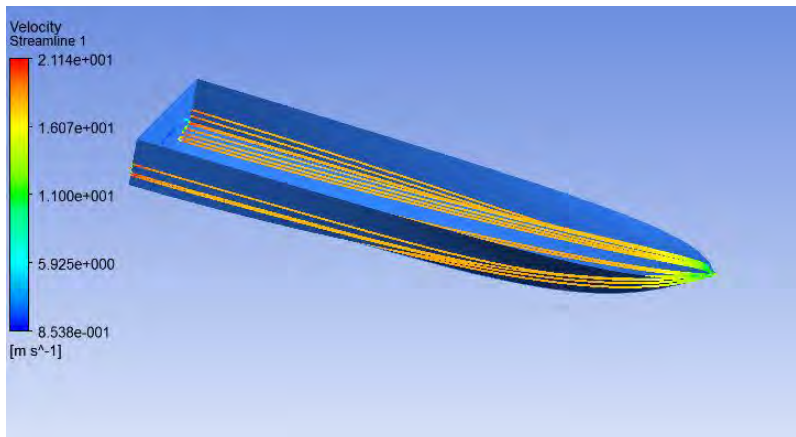
## 10. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 25 knots



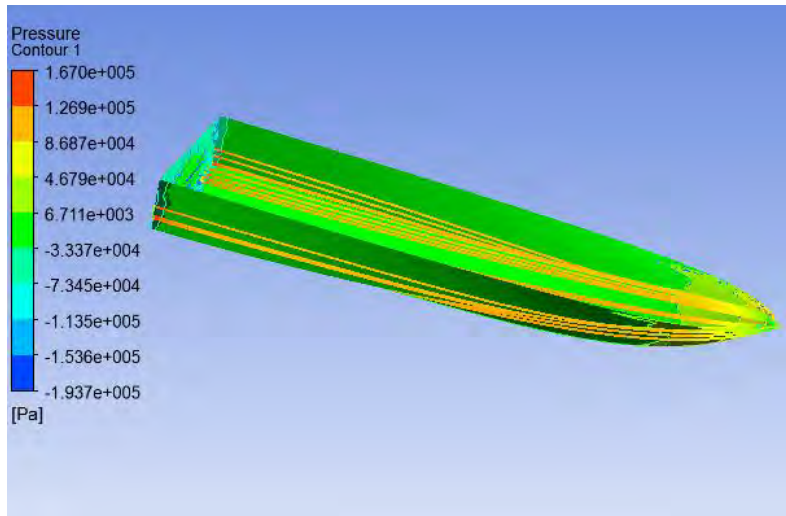
## 11. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 30 knots



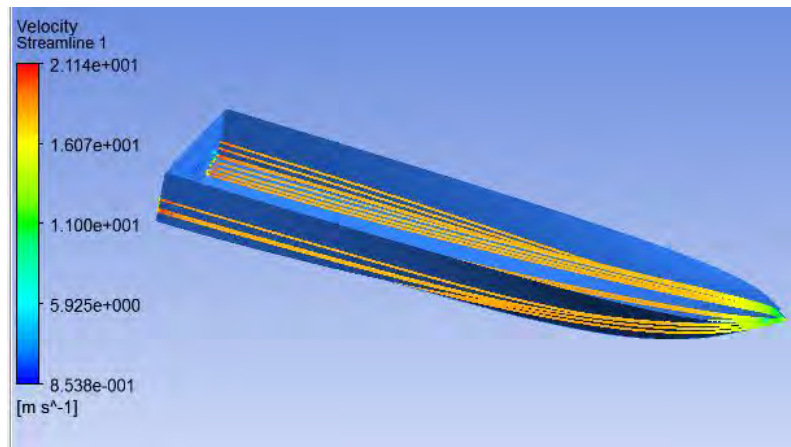
## 12. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 30 knots



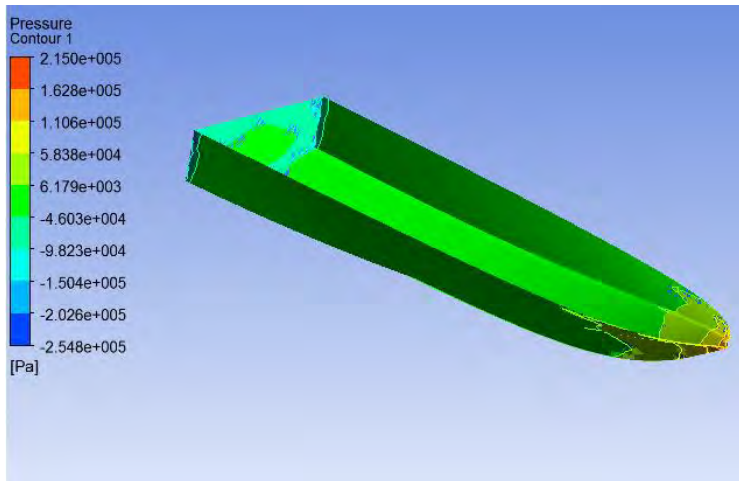
### 13. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 35 knots



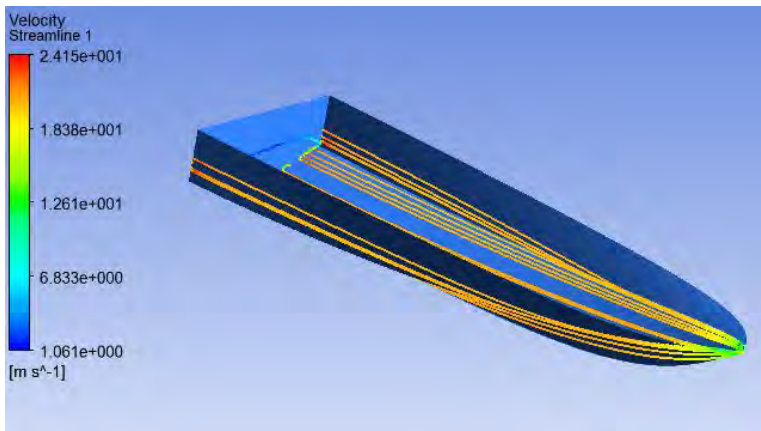
### 14. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 35 knots



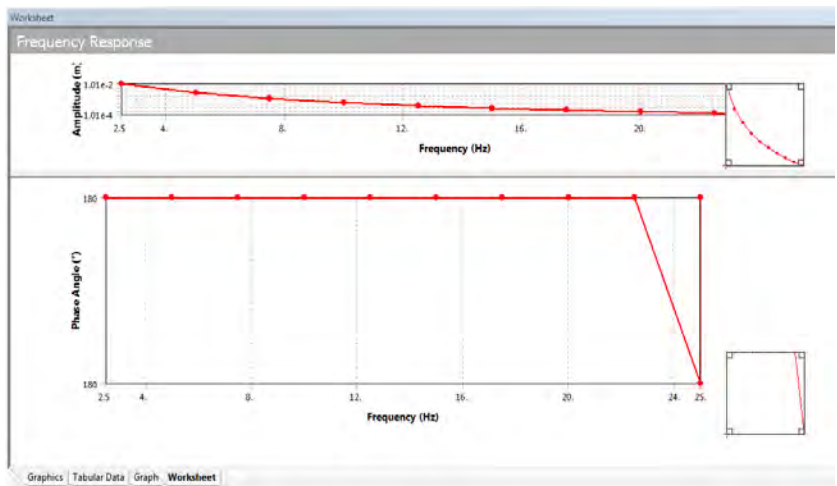
15. Hasil Pressure Menggunakan CFD Pada Kecepatan 40 knots



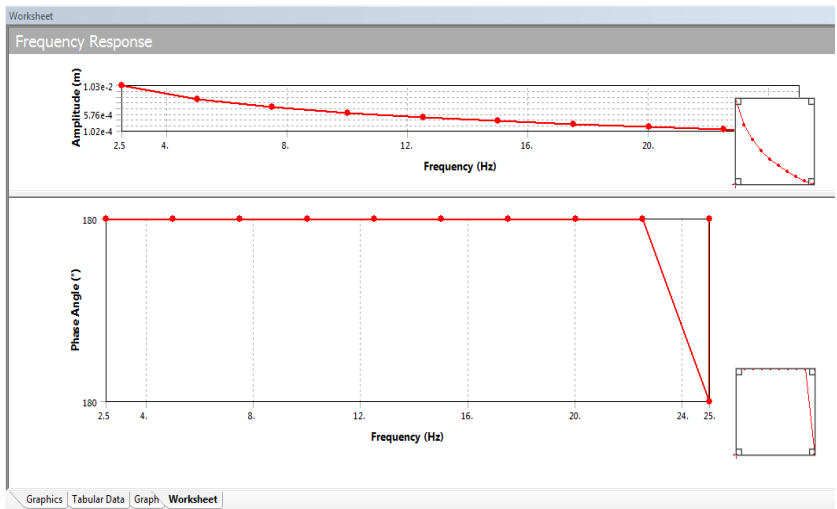
16. Hasil Velocity Menggunakan CFD Pada Kecepatan 40 knots



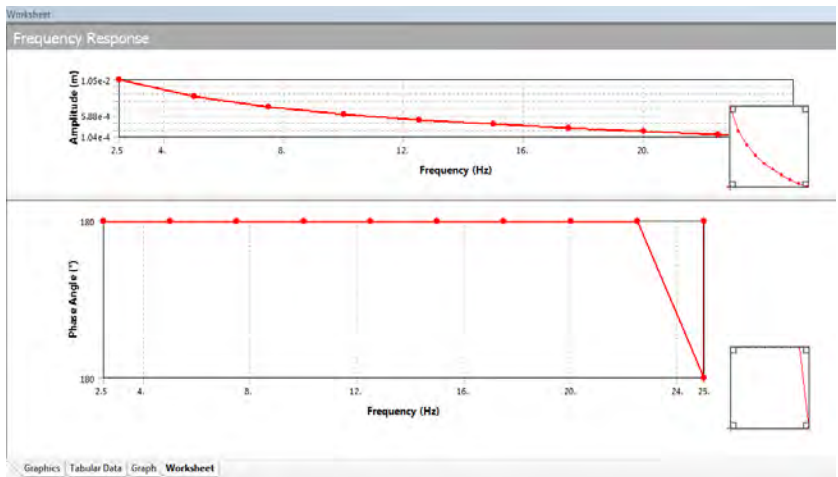
17. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 5 knots



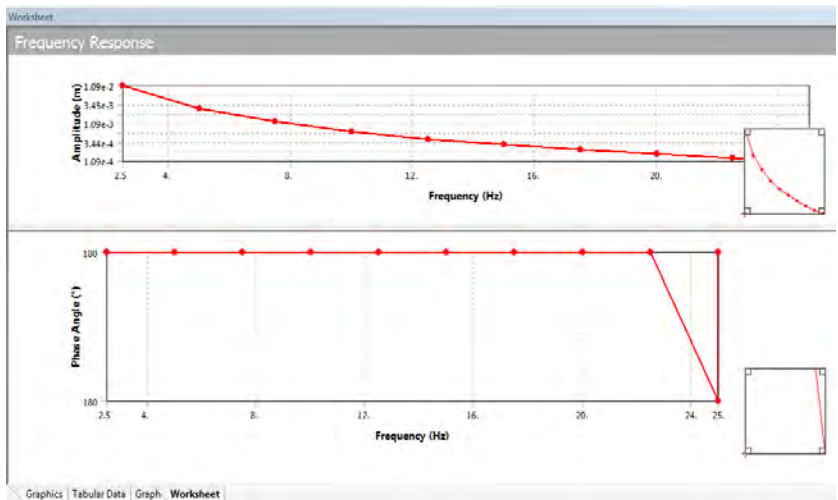
18. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 10 knots



19. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 15 knots

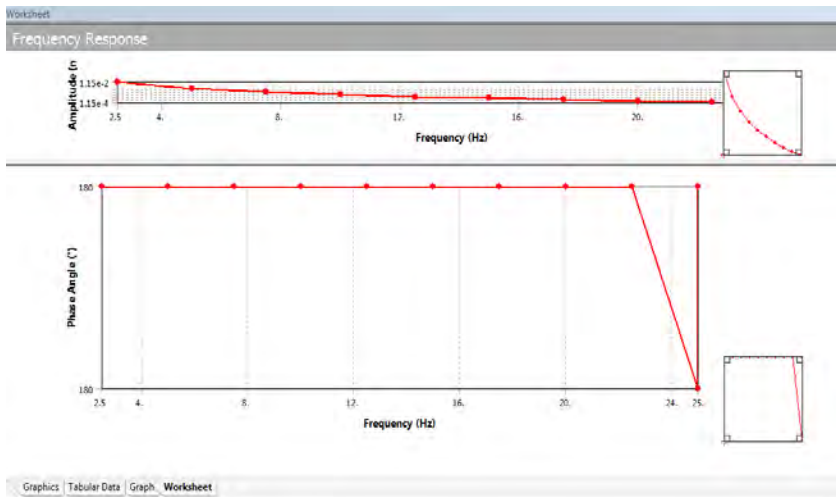


20. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 20 knots

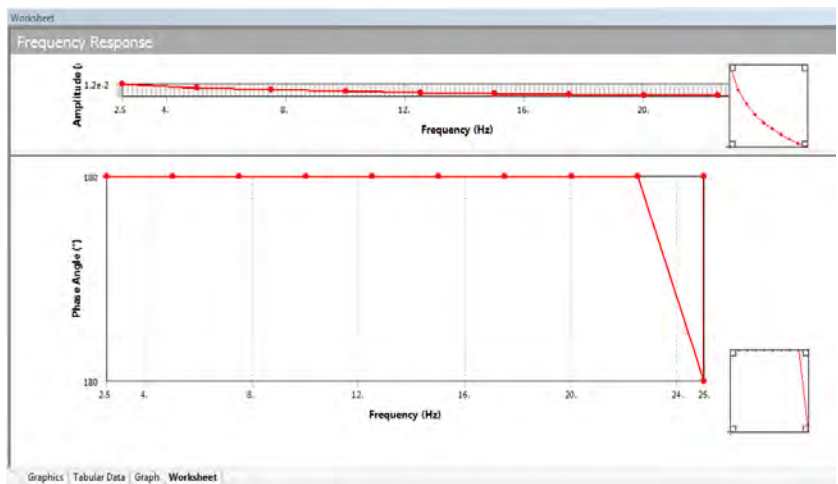




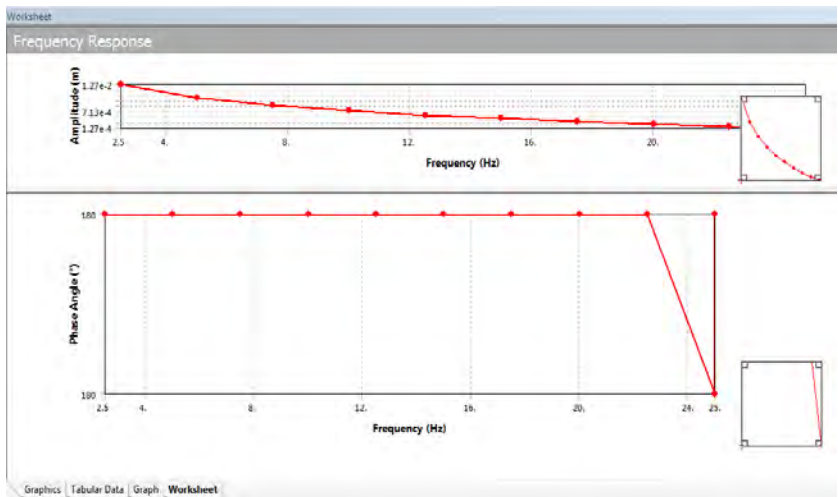
21. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 25 knots



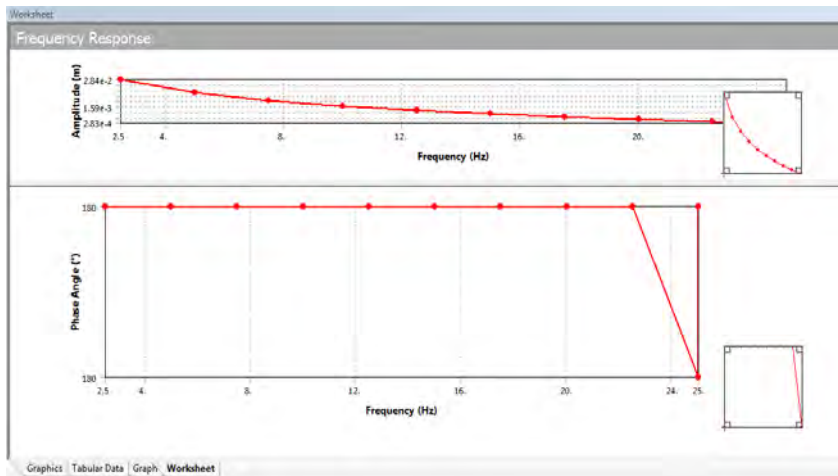
22. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 30 knots



23. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 35 knots



24. Bentuk *frequency response* pada variasi kecepatan 40 knots



25. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 5 knots

	Frequency [Hz]	<input checked="" type="checkbox"/> Amplitude [m]	<input checked="" type="checkbox"/> Phase Angle [°]
1	2.5	1.0115e-002	180.
2	5.	2.5277e-003	180.
3	7.5	1.1226e-003	180.
4	10.	6.3027e-004	180.
5	12.5	3.9481e-004	180.
6	15.	2.8196e-004	180.
7	17.5	2.0647e-004	180.
8	20.	1.5779e-004	180.
9	22.5	1.2446e-004	180.
10	25.	1.0065e-004	180.

26. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 10 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	<input checked="" type="checkbox"/> Amplitude [m]	<input checked="" type="checkbox"/> Phase Angle [°]
1	2.5	1.0267e-002	180.
2	5.	2.5657e-003	180.
3	7.5	1.1395e-003	180.
4	10.	6.3974e-004	180.
5	12.5	4.0075e-004	180.
6	15.	2.862e-004	180.
7	17.5	2.0957e-004	180.
8	20.	1.6016e-004	180.
9	22.5	1.2633e-004	180.
10	25.	1.0216e-004	180.

27. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 15 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	<input checked="" type="checkbox"/> Amplitude [m]	<input checked="" type="checkbox"/> Phase Angle [°]
1	2.5	1.0484e-002	180.
2	5.	2.6201e-003	180.
3	7.5	1.1636e-003	180.
4	10.	6.533e-004	180.
5	12.5	4.0924e-004	180.
6	15.	2.9227e-004	180.
7	17.5	2.1401e-004	180.
8	20.	1.6356e-004	180.
9	22.5	1.2901e-004	180.
10	25.	1.0433e-004	180.

28. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 20 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	<input checked="" type="checkbox"/> Amplitude [m]	<input checked="" type="checkbox"/> Phase Angle [°]
1	2.5	1.091e-002	180.
2	5.	2.7265e-003	180.
3	7.5	1.2108e-003	180.
4	10.	6.7982e-004	180.
5	12.5	4.2585e-004	180.
6	15.	3.0413e-004	180.
7	17.5	2.227e-004	180.
8	20.	1.702e-004	180.
9	22.5	1.3424e-004	180.
10	25.	1.0856e-004	180.

29. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 25 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	<input checked="" type="checkbox"/> Amplitude [m]	<input checked="" type="checkbox"/> Phase Angle [°]
1	2.5	1.1542e-002	180.
2	5.	2.8844e-003	180.
3	7.5	1.281e-003	180.
4	10.	7.192e-004	180.
5	12.5	4.5052e-004	180.
6	15.	3.2175e-004	180.
7	17.5	2.356e-004	180.
8	20.	1.8005e-004	180.
9	22.5	1.4202e-004	180.
10	25.	1.1485e-004	180.

30. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 30 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	<input checked="" type="checkbox"/> Amplitude [m]	<input checked="" type="checkbox"/> Phase Angle [°]
1	2.5	1.2004e-002	180.
2	5.	2.9998e-003	180.
3	7.5	1.3322e-003	180.
4	10.	7.4797e-004	180.
5	12.5	4.6855e-004	180.
6	15.	3.3462e-004	180.
7	17.5	2.4503e-004	180.
8	20.	1.8726e-004	180.
9	22.5	1.477e-004	180.
10	25.	1.1945e-004	180.

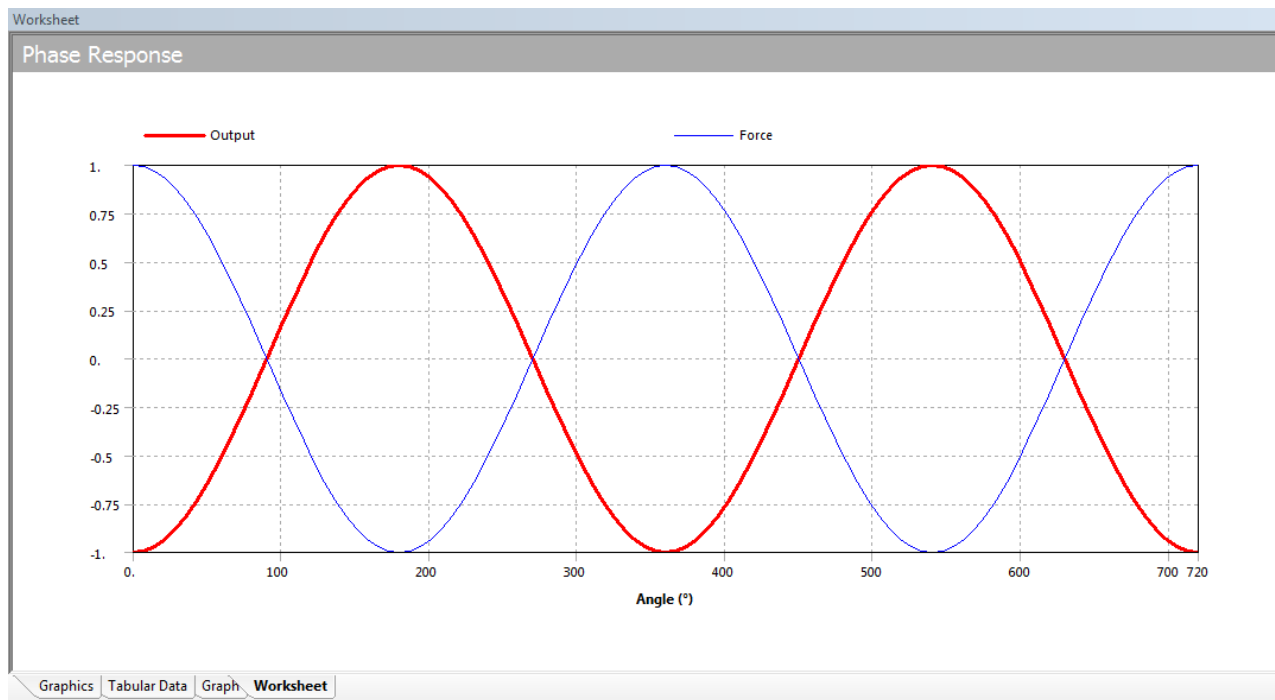
31. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 35 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	✓ Amplitude [m]	✓ Phase Angle [°]
1	2.5	1.2719e-002	180.
2	5.	3.1786e-003	180.
3	7.5	1.4116e-003	180.
4	10.	7.9255e-004	180.
5	12.5	4.9647e-004	180.
6	15.	3.5457e-004	180.
7	17.5	2.5963e-004	180.
8	20.	1.9842e-004	180.
9	22.5	1.5651e-004	180.
10	25.	1.2657e-004	180.

32. Tabel *frequency response* pada variasi kecepatan 40 knots

Tabular Data			
	Frequency [Hz]	✓ Amplitude [m]	✓ Phase Angle [°]
1	2.5	2.8443e-002	180.
2	5.	7.1082e-003	180.
3	7.5	3.1568e-003	180.
4	10.	1.7724e-003	180.
5	12.5	1.1102e-003	180.
6	15.	7.929e-004	180.
7	17.5	5.806e-004	180.
8	20.	4.4372e-004	180.
9	22.5	3.4999e-004	180.
10	25.	2.8304e-004	180.

33. Bentuk *phase response* yang dihasilkan oleh CFD



34. Tabel *phase response* yang dihasilkan oleh CFD

Angle[°]	Output	Force	Angle[°]	Output	Force	Angle[°]	Output	Force
0	-1	1	144	0.80902	-0.80902	288	-0.30902	0.30902
7.2	-0.99211	0.99211	151.2	0.87631	-0.87631	295.2	-0.42578	0.42578
14.4	-0.96858	0.96858	158.4	0.92978	-0.92978	302.4	-0.53583	0.53583
21.6	-0.92978	0.92978	165.6	0.96858	-0.96858	309.6	-0.63742	0.63742
28.8	-0.87631	0.87631	172.8	0.99211	-0.99211	316.8	-0.72897	0.72897
36	-0.80902	0.80902	180	1	-1	324	-0.80902	0.80902
43.2	-0.72897	0.72897	187.2	0.99211	-0.99211	331.2	-0.87631	0.87631
50.4	-0.63742	0.63742	194.4	0.96858	-0.96858	338.4	-0.92978	0.92978
57.6	-0.53583	0.53583	201.6	0.92978	-0.92978	345.6	-0.96858	0.96858
64.8	-0.42578	0.42578	208.8	0.87631	-0.87631	352.8	-0.99211	0.99211
72	-0.30902	0.30902	216	0.80902	-0.80902	360	-1	1
79.2	-0.18738	0.18738	223.2	0.72897	-0.72897	367.2	-0.99211	0.99211
86.4	-6.28E-02	6.28E-02	230.4	0.63742	-0.63742	374.4	-0.96858	0.96858
93.6	6.28E-02	-6.28E-02	237.6	0.53583	-0.53583	381.6	-0.92978	0.92978
100.8	0.18738	-0.18738	244.8	0.42578	-0.42578	388.8	-0.87631	0.87631
108	0.30902	-0.30902	252	0.30902	-0.30902	396	-0.80902	0.80902
115.2	0.42578	-0.42578	259.2	0.18738	-0.18738	403.2	-0.72897	0.72897
122.4	0.53583	-0.53583	266.4	6.28E-02	-6.28E-02	410.4	-0.63742	0.63743
129.6	0.63742	-0.63742	273.6	-6.28E-02	6.28E-02	417.6	-0.53583	0.53583
136.8	0.72897	-0.72897	280.8	-0.18738	0.18738	424.8	-0.42578	0.42578



Lanjutan tabel sebelumnya

Angle[ <sup>0</sup> ]	Output	Force	Angle[ <sup>0</sup> ]	Output	Force
432	-0.30902	0.30902	576	0.80902	-0.80902
439.2	-0.18738	0.18738	583.2	0.72897	-0.72897
446.4	-6.28E-02	6.28E-02	590.4	0.63743	-0.63743
453.6	6.28E-02	-6.28E-02	597.6	0.53583	-0.53583
460.8	0.18738	-0.18738	604.8	0.42578	-0.42578
468	0.30902	-0.30902	612	0.30902	-0.30902
475.2	0.42578	-0.42578	619.2	0.18738	-0.18738
482.4	0.53583	-0.53583	626.4	6.28E-02	-6.28E-02
489.6	0.63742	-0.63742	633.6	-6.28E-02	6.28E-02
496.8	0.72897	-0.72897	640.8	-0.18738	0.18738
504	0.80902	-0.80902	648	-0.30902	0.30901
511.2	0.87631	-0.87631	655.2	-0.42578	0.42578
518.4	0.92978	-0.92978	662.4	-0.53583	0.53582
525.6	0.96858	-0.96858	669.6	-0.63742	0.63742
532.8	0.99211	-0.99211	676.8	-0.72897	0.72897
540	1	-1	684	-0.80902	0.80902
547.2	0.99211	-0.99211	691.2	-0.87631	0.87631
554.4	0.96858	-0.96858	698.4	-0.92978	0.92978
561.6	0.92978	-0.92978	705.6	-0.96858	0.96858
568.8	0.87631	-0.87631	712.8	-0.99211	0.99211
			720	-1	1

1	Draft Amidsh. m	-0.139
2	Displacement tonne	7.60
3	Heel to Starboard degrees	0.0
4	Draft at FP m	-0.182
5	Draft at AP m	-0.096
6	Draft at LCF m	-0.128
7	Trim (+ve by stern) m	0.086
8	WL Length m	0.000
9	WL Beam m	5.198
10	Wetted Area m^2	18.029
11	Waterpl. Area m^2	15.155
12	Prismatic Coeff.	0.000
13	Block Coeff.	0.000
14	Midship Area Coeff.	0.000
15	Waterpl. Area Coeff.	0.000
16	LCB from Amidsh. (+ve fwd)	-1.781
17	LCF from Amidsh. (+ve fwd)	-1.598
18	KB m	0.780
19	KG m	0.830
20	BMt m	3.147
21	BML m	21.984
22	GMt m	3.096
23	GML m	21.934
24	KMt m	3.927
25	KML m	22.765
26	Immersion (TPc) tonne/cm	0.155
27	MTc tonne.m	0.126
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1	0.410
29	Max deck inclination deg	0.4
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.4

PRINCIPLE DIMENSION

L.O.A. : 16.00 m

L.W.L. : 13.00 m

B(Max) : 5.40 m

H : 2.48 m

T : 0.825 m

Vs (max) : 40 Knots

Power : 2 x 600 HP Cummins QSM11  
Waterjet MJP Ultrajet 377

FO Tank : 2400 Litre

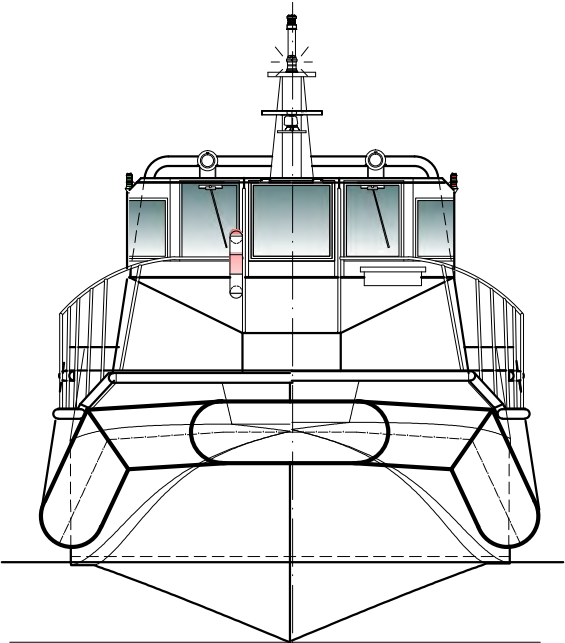
FW Tank : 500 Litre

Endurance : 410 NM

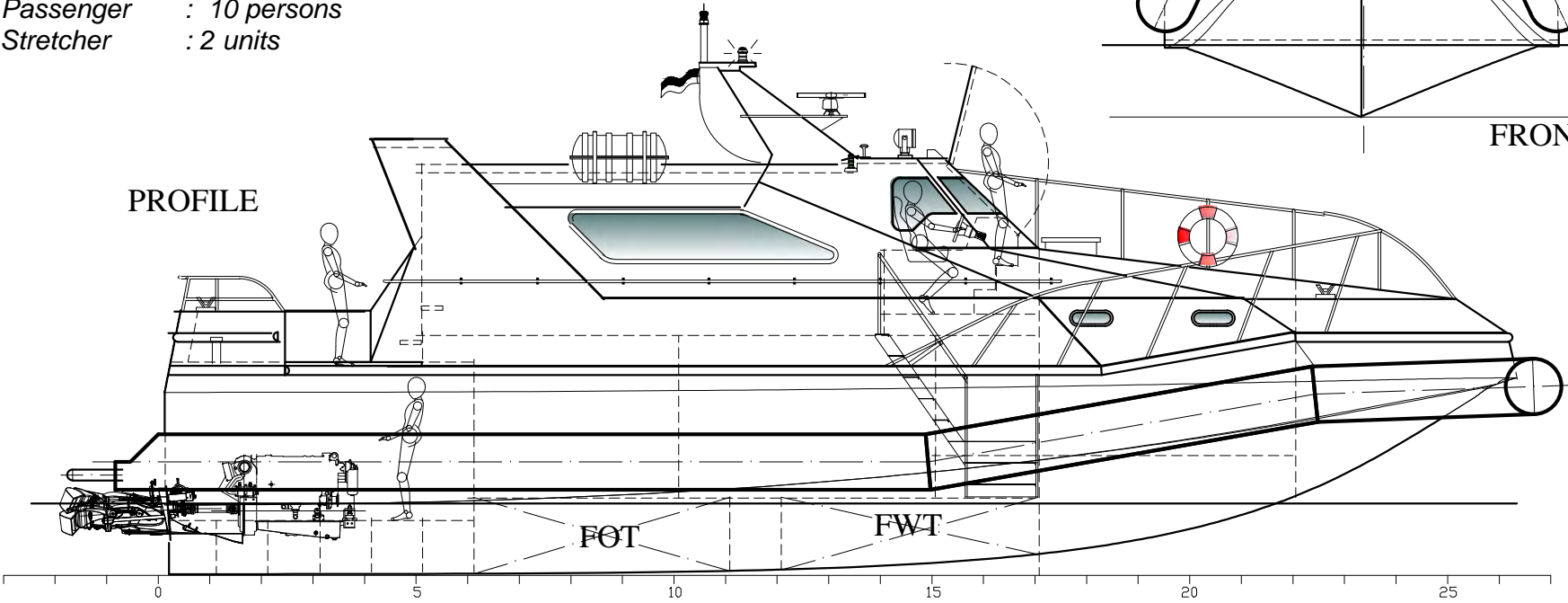
Crews : 4 persons

Passenger : 10 persons

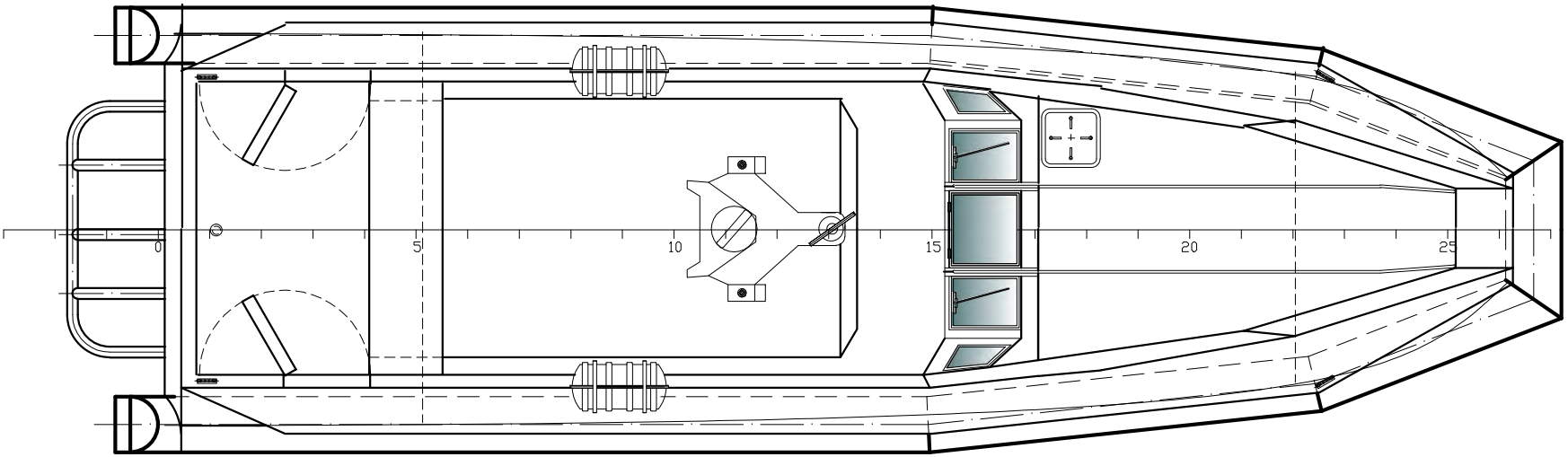
Stretcher : 2 units



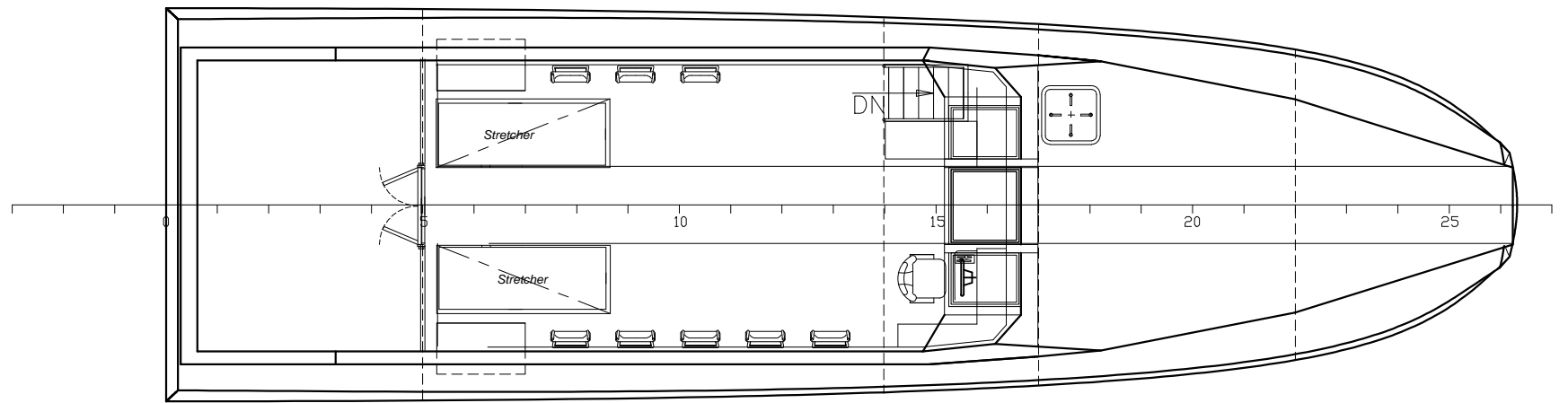
FRONT VIEW



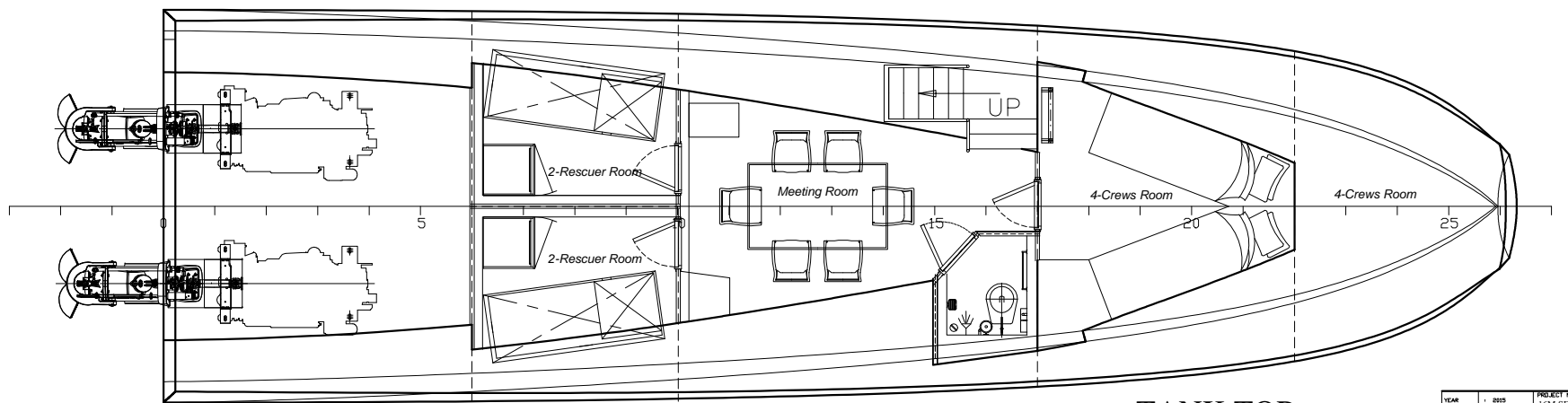
PROFILE



TOP VIEW



MAIN DECK



TANK TOP

YEAR	2015	PROJECT NAME	16M SEARCH & RESCUE BOAT	PROJECT NO.	167
DATE		DRAWING/DOCUMENT NAME	HDPE 2 x 610 HP	OWNER	
DRAWN BY		DESIGNED BY		CLASS	BKI
CHECKED BY		APPROVED BY		DESIGNER	Jr. A. Santos
APPROVED BY		SCALE	1:100	SCALE	1:100
PRODUCTION SYMBOL		SIZE	A4	SHEET	1 OF 1
		PROJ/DOCUMENT NO.		REV	1



# QSM11

## QUANTUM SERIES ENGINE

### Features

**Fuel System:** Cummins Select, a full authority electronic unit injection fuel system optimizes combustion for increased engine performance and fuel efficient operation

**Lubrication System:** Cast aluminum oil pan designed to resist corrosion, spin-on Fleetguard oil filters

**Electrical System:** 12-volt and 24-volt systems available, marine grade wiring harness and instrument panels

**Cooling System:** Low profile, heat exchanger configuration with standard closed crankcase ventilation system

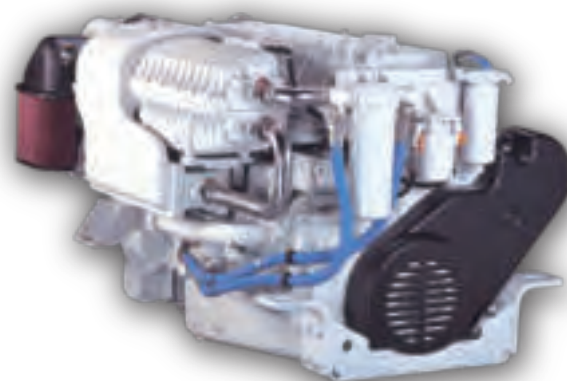
**Air System:** Cummins Turbo Technologies turbocharger optimized for marine applications. Marine grade air filter. Large capacity sea water aftercooler

**Emissions Certified:** EPA Tier 2, IMO, and RCD certified

**Marine Society Certification:** ABS, LR, DNV, BV, CCS, KR approval certificates available on commercial ratings

### Engine Overview

- Proven acceleration and torque performance in thousands of boats from this dependable, four-valve-per-cylinder workhorse
- Quiet and fuel efficient operation from innovative four-cycle design
- Excellent, virtually smoke-free sociability ensures a pleasurable boating experience
- Extended engine life from heavy-duty design elements
- Peace of mind delivered by the Cummins Captain's Briefing and global service network



### Engine Specifications

Configuration	In-line 6-cylinder, 4-stroke diesel
Bore & Stroke	125 mm x 147 mm (4.92 in x 5.79 in)
Displacement	10.8 L (661 in <sup>3</sup> )
Aspiration	Turbocharged / Aftercooled
Rotation	Counterclockwise facing flywheel

### Power Ratings

Rating	HO/GS	HO/GS	HO	ID/HO	MD/HO	HD/HO	CD/HO	CD/HO
Metric hp	715	670	645	610	455	405	355	300
bhp	705	661	636	602	450	400	350	295
KW	526	493	474	449	336	298	261	220
Rated rpm	2500	2300	2300	2300	2100	2100	1800	1800
Max Torque ft-lbs	1750	1750	1750	1575	1450	1344	1250	1160
Max Torque N-m	2373	2373	2373	2135	1966	1822	1695	1573
rpm @ max torque	1700	1700	1700	1700	1400	1400	1400	1300
Exhaust manifold	Dry	Dry	Dry	Dry	Wet	Wet	Wet	Wet

*Ratings and specifications subject to change without notice. Not responsible for typographical errors.*

## Fuel Consumption

Engine Ratings	715	670	645	610
<b>Fuel Consumption (Rated)</b>	2500 rpm @ 142.7 l/hr	2300 rpm @ 127.9 l/hr	2300 rpm @ 127.9 l/hr	2300 rpm @ 116.6 l/hr
<b>Fuel Consumption (Rated)</b>	2500 rpm @ 37.7 g/hr	2300 rpm @ 33.8 g/hr	2300 rpm @ 33.8 g/hr	2300 rpm @ 30.8 g/hr
<b>Fuel Consumption (Cruise)</b>	2300 rpm @ 110.2 l/hr	2100 rpm @ 93.4 l/hr	2000 rpm @ 79.7 l/hr	2100 rpm @ 84.3 l/hr
<b>Fuel Consumption (Cruise)</b>	2300 rpm @ 29.1 g/hr	2100 rpm @ 24.7 g/hr	2000 rpm @ 21.1 g/hr	2100 rpm @ 22.3 g/hr
<b>Crankshaft mhp (kW)</b>	715 (526)	670 (493)	645 (474)	610 (449)
<b>Compression Ratio</b>	16.3:1	16.3:1	16.3:1	16.3:1

Engine Ratings	455	405	355	300
<b>Fuel Consumption (Rated)</b>	2100 rpm @ 87.6 l/hr	2100 rpm @ 75.4 l/hr	1800 rpm @ 65.3 l/hr	1800 rpm @ 55.2 l/hr
<b>Fuel Consumption (Rated)</b>	2100 rpm @ 23.1 g/hr	2100 rpm @ 19.9 g/hr	1800 rpm @ 17.2 g/hr	1800 rpm @ 14.6 g/hr
<b>Fuel Consumption (Cruise)</b>	1900 rpm @ 64.6 l/hr	1900 rpm @ 56.2 l/hr	1600 rpm @ 47.0 l/hr	1600 rpm @ 40.3 l/hr
<b>Fuel Consumption (Cruise)</b>	1900 rpm @ 17.1 g/hr	1900 rpm @ 14.8 g/hr	1600 rpm @ 12.4 g/hr	1600 rpm @ 10.6 g/hr
<b>Crankshaft mhp (kW)</b>	455 (336)	405 (298)	355 (261)	300 (220)
<b>Compression Ratio</b>	15.9:1	15.9:1	15.9:1	15.9:1

Fuel consumption data represents performance along a 2.7 fixed pitch propeller curve (for HO, ID, MCD, 3.0 for HD and CON ratings). Fuel consumption is based on fuel of 35° API gravity at 16°C (60°F) having an LHV of 42,780 KJ/KG (18,390 BTU/lb) when used at 29°C (85°F) and weighing 838.9 g/liter (7.001 lb/US gal). Observed horsepower is certified within ±5% of rated horsepower. Consult your local Cummins professional for further information.

## Engine Dimensions 715, 670, 645, 610

Length		Width		Height		Weight (Dry)*	
mm	in	mm	in	mm	in	kg	lb
1328	43.15	1079.8	42.5	1012	39.9	1188	2620

\*Does not include exhaust connection. Weights vary by rating. Length to flywheel housing.

## Engine Dimensions 455, 405, 355, 300

Length		Width		Height		Weight (Dry)*	
mm	in	mm	in	mm	in	kg	lb
1289.7	50.78	973.7	38.34	1142.8	44.99	1184	2610

\*Does not include exhaust connection. Weights vary by rating.

## Available Accessories

**Engine Controls:** Digital Throttle and Shift; Electronic Throttle and Shift (ETS) and optional potentiometer for mechanical controls

**Instrumentation:** SmartCraft® 2.2 digital displays and/or analog gauges provide data on engine speed, oil pressure, engine load and more

**Vessel System Integration:** SmartCraft® 2.2 monitors fluid level, vessel range, depth, vessel speed, rudder position, temperatures and more

**Accessory Drive Pulley:** Belt or gear driven

**Hydraulic Pump Drive:** SAE A or SAE B flange Wet and Dry Exhaust Connections

## Ratings Definitions

**Continuous (CD):** Intended for use in applications requiring uninterrupted and unlimited service at full power.

**Heavy Duty (HD):** Intended for nearly continuous use in variable load applications, where full power is limited to eight hours out of every ten hours of operation. Also, reduced power operation must be at or below cruise rpm, which is 200 rpm below the maximum rated speed. This rating is for applications operating less than 5000 hours per year.

**Medium Continuous (MD):** Intended for moderate use in variable load applications, where full power is limited to six hours out of every twelve hours of operation. Also, reduced power operation must be at or below cruise rpm, which is 200 rpm below the maximum rated speed. This rating is for applications operating less than 3000 hours per year.

**Intermittent (ID):** Intended for intermittent use in variable load applications, where full power is limited to two hours out of every eight hours of operation. Also, reduced power operation must be at or below cruise rpm, which is 200 rpm below the maximum rated speed. This rating is for applications operating less than 1500 hours per year.

**Government Service (GS):** Intended for infrequent use in variable load applications, where full power is limited to one hour out of every eight hours of operation. Also, reduced power operation must be at or below cruise speed (rpm). Cruise speed (rpm) is dependent on the engine rated speed (rpm). Refer to Table 1 below. For applications operating less than 500 hours per year. Engines with this rating are restricted to non-revenue generating government service propulsion applications. It is not to be used in any revenue generating commercial applications, nor is it to be used in recreational/pleasure applications

**High Output (HO):** Intended for infrequent use in variable load applications, where full power is limited to one hour out of every eight hours of operation. Also, reduced power operation must be at or below cruise speed (rpm). Cruise speed (rpm) is dependent on the engine rated speed (rpm). Refer to Table 1 below. For applications operating less than 500 hours per year. Engines with this rating are intended for powering recreational/pleasure use vessels only. Commercial use is defined as any work or employment related use of the product, or any use of the product which generates income, for any part of the warranty period, even if the product is only occasionally used for such purposes.

**Rating Conditions:** Declared power ratings are based upon ISO 15550 reference conditions/ air pressure of 100kPa (29.612 in Hg) air temperature of 25° C (77°F) and 30% relative humidity. Propeller Shaft Power represents the net power available after typical reverse/reduction gear losses and is 97% of rated power. Power rated in accordance with IMCI procedures.

Table 1

Rated Speed	Cruise Speed (reduction from rated)
2000 to 2800 rpm	200 rpm
2801 to 3500 rpm	300 rpm
3501 to 4500 rpm	400 rpm

*Ratings and specifications subject to change without notice.  
Not responsible for typographical errors.*



Cummins Inc.  
4500 Leeds Avenue - Suite 301  
Charleston, SC 29405-8539  
U.S.A.

Bulletin 4087255 Printed in U.S.A. 5/12  
©2012 Cummins Inc.



# Cummins Marine and Cummins MerCruiser Diesel

## Marine Engine General Data Sheet

Engine Model: QSM11-M / D(M)

Data Sheet: DS-3021

Date: 19 Mar 08

### GENERAL ENGINE DATA

#### Metric [U.S. Customary]

Type .....		4 Cycle, Inline, 6 Cylinder
Bore .....	mm [in]	125 [4.92]
Stroke .....	mm [in]	147 [5.79]
Displacement .....	liter [in <sup>3</sup> ]	10.8 [661]

### ENGINE MOUNTING & ACCESSORY DRIVES

Max. Allowable Bending Moment at Rear Face of Block .....	N·m [ft·lb]	1356 [1000]
Max. Allowable Axial Thrust Load on Crankshaft .....	N [lb]	4670 [1050]
Max. Allowable Radial Load on Crankshaft		
At 0° .....	N [lb]	854 [192]
At 90° .....	N [lb]	2180 [490]
At 180° .....	N [lb]	4919 [1106]
At 270° .....	N [lb]	854 [192]

Installation/Operating Angles - OP 2120 (Additional Options Available)

Engine Installation Angles

In-Line drive: Installation: Static Installed Engine Pitch Angle

Engine Front Up From Horizontal .....	Min.	0°
Engine Front Up From Horizontal .....	Max.	12°

Vee Drive: Installation: Static Installed Engine Pitch

Engine Front Up From Horizontal .....	Min.	3°
Engine Front Up From Horizontal .....	Max.	12°

All Drives: Static Installed Engine Roll Angle

From vertical "Right/Left" Viewed from Flywheel End of Engine .....	Max. Right	45°
From vertical "Right/Left" Viewed from Flywheel End of Engine .....	Max. Left	37°

Engine Angles - Vessel Operating

Steady-State Operation - Engine Pitch Angle

Engine Front Up From Horizontal .....	Min.	-15°
Engine Front Up From Horizontal .....	Max.	31°

All Drives: Intermittent Operation - Eng. Roll Angle

From Vertical "Right/Left" viewed from Flywheel End of Engine .....	Max. Right	45°
From Vertical "Right/Left" viewed from Flywheel End of Engine .....	Max. Left	37°

All Drives: Intermittent Operation - Engine Pitch Angle

Engine Front Up From Horizontal .....	Min.	N.A.
Engine Front Up From Horizontal .....	Max.	N.A.

### FUEL SYSTEM

Maximum Allowable Restriction to Fuel Pump

Clean Filter .....	kPa [in Hg]	20 [6.0]
Dirty Filter .....	kPa [in Hg]	34 [10.0]

Maximum Allowable Return Line Pressure .....

Maximum Static Pressure at Fuel Pump .....

Maximum Height of Fuel In Tank Above Fuel Pump .....

### EXHAUST SYSTEM

Maximum Allowable Back Pressure .....	kPa [in Hg]	10 [3]
Maximum Bending Moment at Turbine Outlet Mounting Flange .....	N·m [ft·lb]	19 [14]
Maximum Incremental Direct Load at Turbine Outlet Mounting Flange .....	kg [lb]	9 [20]

### AIR INDUCTION SYSTEM

Max. Allowable Intake Restriction - Turbocharged

Clean Filter .....	mm H <sub>2</sub> O [in H <sub>2</sub> O]	254 [10]
Dirty Filter .....	mm H <sub>2</sub> O [in H <sub>2</sub> O]	635 [25]

Maximum Air Cleaner Inlet Temperature Rise Over Ambient .....

TBD= To Be Determined

N/A = Not Applicable

N.A. = Available

**CUMMINS ENGINE COMPANY, INC**  
**COLUMBUS, INDIANA**

All Data is Subject to Change Without Notice - Consult the following Cummins intranet site for most recent data:

<http://www.cummins.com>

# Cummins Marine and Cummins MerCruiser Diesel

## Marine Engine General Data Sheet

Engine Model: QSM11-M / D(M)

Data Sheet: DS-3021

Date: 19 Mar 08

### LUBRICATION SYSTEM

Oil Consumption Rate (Volume Percent of Fuel Consumption Rate) .....	%	0.0008
Oil Pressure at Normal Operating Temperature		
Idle Speed - Minimum in Filter Head Upstream of Filter .....	kPa [psi]	69 [10]
Idle Speed - Minimum in Main Oil Gallery .....	kPa [psi]	69 [10]
Rated Speed - Measured in Filter Head Upstream of Filter (Low) .....	kPa [psi]	207 [30]
Rated Speed - Measured in Filter Head Upstream of Filter (High) .....	kPa [psi]	448 [65]
Rated Speed - Measured in Main Oil Gallery (Low) .....	kPa [psi]	207 [30]
Rated Speed - Measured in Main Oil Gallery (High) .....	kPa [psi]	448 [65]
Max. Allowable Oil Temperature (Sump) .....	°C [°F]	121 [250]
Oil Pan Capacity (Shallow)		
Low .....	liter [gal]	26.5 [7.0]
High .....	liter [gal]	30.3 [8.0]
Total System Capacity (Max. Sump + Filter) .....	liter [gal]	32.9 [8.7]
Oil Pan Capacity (Deep)		
Low .....	liter [gal]	30.3 [8.0]
High .....	liter [gal]	34.1 [9.0]
Total System Capacity (Max. Sump + Filter) .....	liter [gal]	36.7 [9.7]

### COOLING SYSTEM

Coolant Capacity		
Engine Only .....	liter [gal]	28 [7.4]
Engine Including Heat Exchanger and Integral Expansion Tank .....	liter [gal]	36 [9.4]
Min. Coolant Makeup Capacity .....	liter [gal]	15 [4]
Max. Pressure Drop Across Any External Cooling System Circuit .....	kPa [psi]	34 [5]
Max. Allowable Block Coolant System Pressure .....	kPa [psi]	276 [40]
Max. Coolant Head From Crankshaft Centerline With 15 psi Pressure Cap .....	m [ft]	16 [51]
Max. Coolant Temperature at Engine Outlet .....	°C [°F]	96 [205]
Min. Block Coolant Temperature (Warm Engine) .....	°C [°F]	71 [160]
Min. Allowable Coolant Expansion Space .....	% of System Capacity	5
Maximum Sea Water Pressure .....	kPa [psi]	172 [25]
Maximum Sea Water Pressure Drop Across Heat Exchanger .....	kPa [psi]	34 [5]
Maximum Sea Water Inlet Restriction .....	kPa [in Hg]	17 [5]

### ELECTRICAL AND STARTER SYSTEM

Electrical		<b>12V</b>	<b>24V</b>
Min. Recommended Battery Capacity			
Cold Cranking Amperes Rating (CCA) .....		1800	900
Marine Cranking Amperes Rating (MCA) .....		2250	1125
Reserve Capacity (Discharging 25 Amps @ 80°F) .....	minutes	320	320
Min. Allowable System Voltage (@ Battery While Running) .....	Volts	12	24
Min. Allowable System Voltage (@ Battery While Cranking) .....	Volts	9	15
Max. Allowable System Voltage (@ Battery While Running) .....	Volts	15.5	31.0
Max. Allowable Voltage Drop of Starting Circuit (While Cranking) .....	Volts	0.7	1.0
Min. Engine Cranking Torque .....	ft·lb	1150	600
Min. Break-away Engine Cranking Torque .....	ft·lb	N.A.	N.A.
Min. Engine Cranking Speed .....	rpm	150	150
Max. Engine (Running) Current Draw .....	Amps	25	15
Min. Ambient Temperature for Cold Start (No Aids) .....	°C [°F]	-7 [20]	-7 [20]
Air Starter			
Regulated Pressure for Air Starter System .....	kPa [psi]	N.A.	N.A.
Min. Air-Flow for Air Starter System .....	l/sec [cfm]	N.A.	N.A.
Min. Recommended Tank Volume .....	liter [gal]	N.A.	N.A.

TBD= To Be Determined

N/A = Not Applicable

N.A. = Available

**CUMMINS ENGINE COMPANY, INC**  
**COLUMBUS, INDIANA**

All Data is Subject to Change Without Notice - Consult the following Cummins intranet site for most recent data:

<http://www.cummins.com>





**CUMMINS INC.**  
Columbus, IN 47201  
Marine Performance Curves  
[marine.cummins.com](http://marine.cummins.com)

Basic Engine Model  
**QSM11-M**  
Engine Configuration  
**D353013MX03**

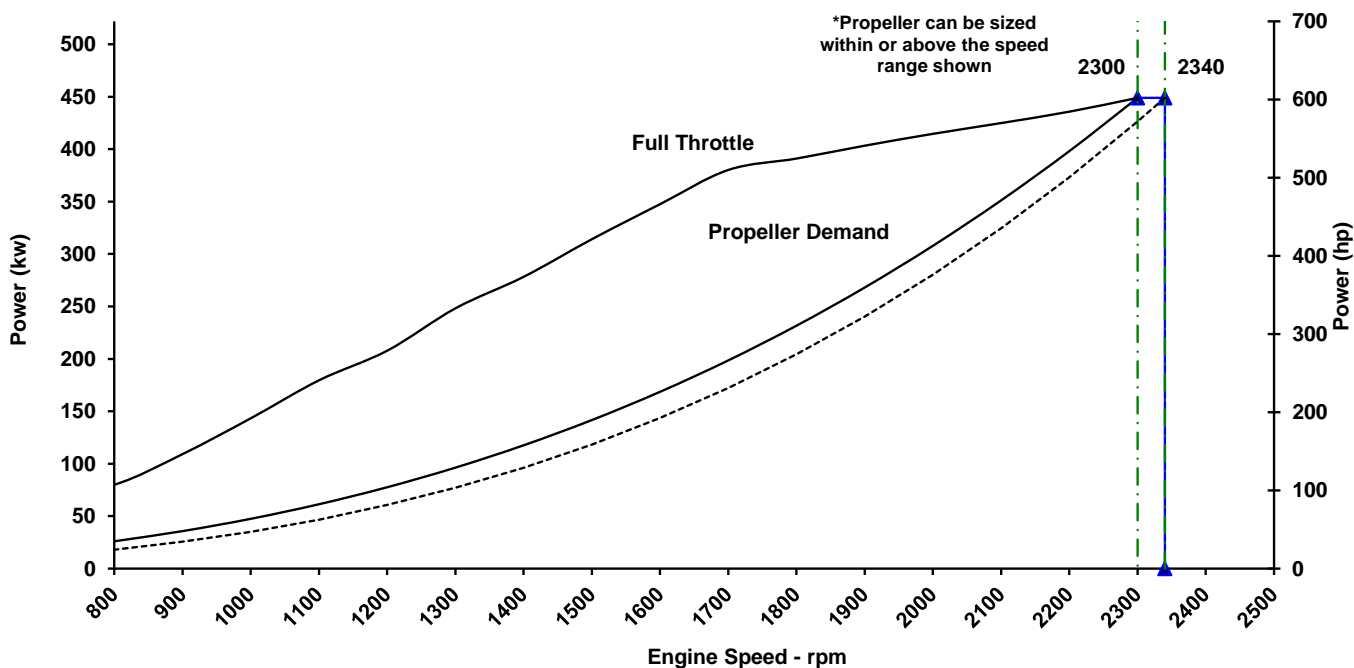
Curve Number:  
**M-20105**  
CPL Code:  
**PP8753**  
Date:  
**26-Apr-13**

Displacement: **10.8 liter [661 in<sup>3</sup>]**  
Bore: **125 mm [4.92 in]**  
Stroke: **147 mm [5.79 in]**  
Fuel System: **CELECT**  
Cylinders: **6**  
Rated Power: **449 kw [602 bhp, 610 mhp]**  
Rated Speed: **2300 rpm**  
Rating Type: **Intermittent Duty**  
Aspiration: **Turbocharged / Sea Water Aftercooled**

CERTIFIED: This diesel engine complies with or is certified to the following agencies requirements:

EPA Tier 2 - Model year requirements of the EPA marine regulation (40CFR94)

IMO Tier II - Tier 2 (Two) NOx requirements of International Maritime Organization (IMO), MARPOL 73/78 Annex VI, Regulation 13



	Speed	Full Throttle- Power		Full Throttle- Torque		Fuel Cons.- Prop. Curve 2.7 Exp.	
	rpm	kw	(hp)	N·m	(ft·lb)	L/hr	(gal/hr)
	2340	449	(602)	1832	(1351)		
	2300	449	(602)	1864	(1375)	116.6	(30.8)
	2200	436	(584)	1891	(1395)	97.5	(25.7)
	2000	415	(556)	1979	(1460)	72.7	(19.2)
	1900	403	(541)	2027	(1495)	63.3	(16.7)
	1800	391	(524)	2074	(1530)	55.1	(14.6)
	1600	348	(466)	2074	(1530)	41.9	(11.1)
	1500	314	(421)	2000	(1475)	35.5	(9.4)
	1400	278	(373)	1898	(1400)	29.4	(7.8)
	1200	208	(279)	1654	(1220)	18.8	(5.0)
	1100	180	(241)	1559	(1150)	15.9	(4.2)
	1000	143	(192)	1369	(1010)	12.2	(3.2)
	900	109	(147)	1159	(855)	9.2	(2.4)
	800	80	(107)	956	(705)	7.0	(1.8)

\* Cummins Full Throttle Requirements:

- Engine achieves or exceeds rated rpm at full throttle under any steady operating condition
- Engines in variable displacement boats (such as pushboats, tugboats, net druggers, etc.) achieve no less than 100 rpm below rated speed at full throttle during a dead push or bollard pull
- Engine achieves or exceeds rated rpm when accelerating from idle to full throttle

Rated Conditions: Ratings are based upon ISO 15550 reference conditions; air pressure of 100 kPa [29.612 in Hg], air temperature 25deg. C [77 deg. F] and 30% relative humidity. Power is in accordance with IMCI procedure. Member NMMA. Unless otherwise specified, tolerance on all values is +/-5%.

Full Throttle curve represents power at the crankshaft for mature gross engine performance corrected in accordance with ISO 15550. Propeller Curve represents approximate power demand from a typical propeller. Propeller Shaft Power is approximately 3% less than rated crankshaft power after typical reverse/reduction gear losses and may vary depending on the type of gear or propulsion system used.

Fuel Consumption is based on fuel of 35 deg. API gravity at 16 deg C [60 deg. F] having LHV of 42,780 kJ/kg [18390 Btu/lb] and weighing 838.9 g/liter [7.001 lb/U.S. gal].

Intermittent Duty (INT): Intended for intermittent use in variable load applications where full power is limited to two hours out of every eight hours of operation. Also, reduced power operations must be at or below 200 rpm of the maximum rated rpm. This rating is an ISO 15550 fuel stop power rating and is for applications that operate less than 1,500 hours per year.

*Keith D. King*  
CHIEF ENGINEER





RULES FOR CLASSIFICATION OF

# High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft

PART 6 CHAPTER 12

---

SPECIAL EQUIPMENT AND SYSTEMS – ADDITIONAL CLASS

## Noise and Vibrations

JANUARY 2011

*This chapter has been amended since the main revision (January 2011), most recently in July 2011.  
See “Changes” on page 3.*

---

The content of this service document is the subject of intellectual property rights reserved by Det Norske Veritas AS (DNV). The user accepts that it is prohibited by anyone else but DNV and/or its licensees to offer and/or perform classification, certification and/or verification services, including the issuance of certificates and/or declarations of conformity, wholly or partly, on the basis of and/or pursuant to this document whether free of charge or chargeable, without DNV's prior written consent. DNV is not responsible for the consequences arising from any use of this document by others.

---

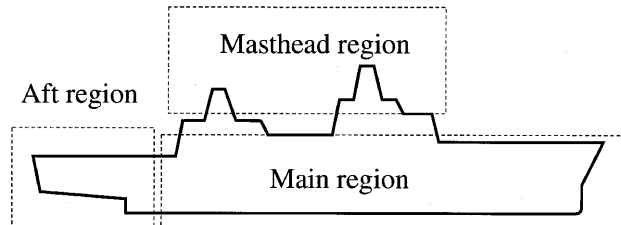
## C. Structural Vibration

### C 100 Scope

**101** Structural vibration should be limited in order to ensure personnel comfort and proficiency as well as structural integrity and trouble free operation of machinery and components.

### C 200 Criteria

**201** Larger craft, with length overall exceeding 35 m, should be divided in three different regions, aft region, main region and masthead region, as shown in Fig. 1. Aft region is restricted to aft 1/5 of the craft length. Masthead region comprises all masts and the decks they are mounted on.



**Fig. 1**  
**Division of a craft with length larger than 35 m**

**202** The structural vibration levels should not exceed the following values in the frequency range between 5 and 100 Hz:

Main region, decks normally accessible to personnel and structure for mounting of equipment	5 mm/s
Aft region, decks normally accessible to personnel and structure for mounting of equipment	7 mm/s

For frequencies between 1 Hz and 5 Hz the vibration should be restricted to the acceleration level at 5 Hz corresponding to the relevant velocity level at 5 Hz.

Mast head region	15 mm/s
------------------	---------

Other structure where personnel comfort or proficiency is not affected and critical equipment is not to be mounted, e.g. tanks and void spaces:

Steel craft	30 mm/s
Aluminium craft	10 mm/s

For frequencies between 1 Hz and 5 Hz the vibration should be restricted to the displacement level at 5 Hz corresponding to the relevant velocity level at 5 Hz.

All vibration levels refer to single frequency components.

For weapon and sensor platforms, equipment supplier may have equipment dependent criteria. If stricter than the general criteria given above for human proficiency or structural integrity, the supplier specified criteria should be applied.

**203** For smaller craft, length overall less than 35 m, the requirements for the masthead region do not apply. The requirements for the main region may be relaxed to 6 mm/s.

**204** For naval combat craft it is of particular importance to avoid resonance due to excitation from damaged machinery. Hence, the critical structure, of combat craft, should be verified not to have fundamental natural frequencies corresponding to the rotational frequency or the first harmonic of this frequency in a realistic operational speed range of the propulsion machinery. Critical structure is all structure in the direct vicinity of the propulsion machinery, the structure on the two decks immediately above the propulsion machinery and platforms for weapon and sensors. The owner should define a realistic operational speed range of the propulsion machinery for the investigation.

### C 300 Measurements

**301** Measurements of vibration should be carried out in accordance with the procedures described in ISO 4868. When the procedures described in ISO 4868 deviates from any requirements or procedures given in these rules, the requirements or procedures of the rules are to take precedence.

**302** When a craft is completed, the building yard is responsible for execution of the necessary measurements. If a craft is modified or rebuilt, the owner is responsible for documenting any changes in the vibration levels. Measurement of vibration levels should in any case be carried out at least once every ten years for craft in

operation. The measurements are to be carried out by a competent body approved by the Society.

**303** The structural vibration measurements are to be carried out for a defined normal service condition and at any other relevant operating conditions found appropriate by the Society, or as specified by the owner.

The defined normal service condition should be a steady operating condition at which the power absorbed by the propellers is not less than 85 % of the maximum continuous rating. Alternatively, a different normal service condition may be accepted if the owner can demonstrate that this would correspond to a more representative normal service condition for the craft in question.

**304** A test program shall be approved by the Society prior to execution of the measurements. The test program shall at least contain:

- a description of the intended measuring locations
- required loading conditions
- required operating conditions for machinery and systems
- instrumentation to be used.

**305** The measuring locations are to be selected as such as to give a representative description of the vibration situation all over the craft. The minimum distribution of measuring locations is to be approved prior to the measurements. New measuring positions may, however, be added during the testing based on actual findings on board the craft.

**306** Measurements are to be taken in all public spaces, all working locations, all operational locations, all machinery spaces, on open decks and in cabins as specified in 307 to 309.

**307** The number of cabins to be tested shall at least comply with the following requirements:

- a) For ships with less than 50 cabins, measurements are to be taken in all cabins.
- b) For ships with 50 to 100 cabins, measurements are to be taken in not less than 50 cabins and at least in every other cabin.
- c) For ships with more than 100 cabins, measurements are to be taken in not less than 75 cabins and at least in every forth cabin.
- d) For all ships, measurements are always to be performed in all cabins being at the end of a corridor or adjacent to a room containing machinery.

**308** Vibration measurements in cabins are normally to be taken at the floor in the centre of the room, unless higher vibration levels are sensed in other positions.

**309** In large rooms and on open deck areas, e.g. mess rooms, machinery rooms, wheelhouses, etc. several measuring positions may be necessary to get a representative description of the vibration situation. No distance between measuring positions or measuring positions and walls is to exceed 7 m.

**310** Structural vibration levels are to be measured in vertical, longitudinal and transverse directions. Vertical vibration should be recorded in all measuring locations, transverse vibration should be recorded in at least 25 % of the locations evenly distributed over the craft and longitudinal vibration should be measured in at least one location on each deck level.

**311** The instrumentation to be used for the measurements is to be of an electronic type. The signal may be stored on tape, analysed directly by means of an FFT-analyser or by means of PC based equipment.

**312** The following analysis parameters should be used during measurement of structural vibration:

- frequency range 1 to 100 Hz
- at least 400 spectral lines
- window function which gives an accurate estimate of the amplitude values of the single peaks in the frequency spectra (e.g. “flat-top” window)
- the data is to be averaged over a time period of approximately one minute.

**313** Vibration levels greater than those specified in the rules may be accepted on a case by case basis. In no case will more than 20 % of the locations be allowed to exceed the relevant vibration criteria by more than 1 mm/s.

**314** The report is to comply with the requirements in ISO 4867. The positions of the structural vibration measurements are to be plotted on general arrangement drawings of the craft.

## D. Machinery Vibration

### D 100 Scope

**101** Machinery vibration levels will be indicators of sound mounting, balancing and alignment for new installations as well as indicators of working condition for machinery in operation.

### D 200 Criteria

**201** The criteria below are not to be exceeded for the relevant machinery and components, unless it can be documented by a manufacturer that a particular item designed to operate for prolonged times at a higher vibration level than specified in 202 to 213. In such a case the manufacturers recommended maximum vibration level should be applied.

#### 202 *Shaft line bearings*

Displacement	Velocity
1 to 2 Hz	2 to 100 Hz
0.4 mm	5 mm/s

To be measured horizontally or vertically in height with the shaft centre. Main class requirements related to shafting and vibrations are given in Pt.4 Ch.2.

#### 203 *Diesel engines, < 200 r.p.m.*

	Displacement	Velocity
	1 to 2.4 Hz	2.4 to 100 Hz
vertical or longitudinal	10.5 mm	8 mm/s
transverse	1.0 mm	15 mm/s

To be measured at the top of the A – frame at engine ends.

#### 204 *Diesel engines, > 200 r.p.m.*

Displacement	Velocity
1 to 4.8 Hz	4.8 to 100 Hz
0.5 mm	15 mm/s

To be measured in the transverse direction fore and aft on engine top.

#### 205 *Turbochargers*

Displacement	Velocity	Acceleration
3 to 4.8 Hz	4.8 to 26.5 Hz	26.5 to 300 Hz
1.0 mm	30 mm/s	5000 mm/s <sup>2</sup>

To be measured in any direction on the bearings.

#### 206 *Diesel driven generators*

Displacement	Velocity
1 to 3.2 Hz	3.2 to 100 Hz
0.5 mm	10 mm/s

To be measured fore and aft on the bearings.

#### 207 *Turbines*

Velocity
5 to 1000 Hz
5 mm/s

#### 208 *Turbine driven generators*

Displacement	Velocity
--------------	----------

	1 to 2.0 Hz	2.0 to 100 Hz
Rigidly mounted	0.4 mm	5 mm/s
Resiliently mounted	0.8 mm	10 mm/s

To be measured in any direction on the bearings.

## 209 Gears

Velocity
5 to 1000 Hz
5 mm/s

To be measured in any direction on the bearings.

**210** *Electric motors, separators, hydraulic pumps (screw or centrifugal), pumps (screw or centrifugal), compressors (screw or centrifugal), fans.*

Displacement	Velocity
1 to 2.0 Hz	2.0 to 100 Hz
0.4 mm	5 mm/s

To be measured in any direction on the bearings.

**211** *Hydraulic pumps, compressors, pumps (reciprocating piston types).*

Displacement	Velocity
1 to 3.2 Hz	3.2 to 100 Hz
0.5 mm	10 mm/s

To be measured in any direction on the bearings.

## 212 Boilers

Displacement	Velocity
1 to 4.8 Hz	4.8 to 100 Hz
1 mm	30 mm/s

To be measured on stiff parts, e.g. lugs, flanges etc.

## 213 Incinerators

Displacement	Velocity
1 to 3.2 Hz	3.2 to 100 Hz
0.5 mm	10 mm/s

To be measured on stiff parts, e.g. lugs, flanges etc.

## D 300 Measurements

**301** When a craft is completed, the building yard is responsible for execution of the necessary measurements. If a piece of machinery is modified or rebuilt the owner is responsible for documenting any changes in the vibration levels. Measurement of vibration levels should in any case be carried out at least once every five years for craft in operation. The measurements are to be carried out by a competent body approved by the Society.

**302** The machinery vibration measurements are to be carried out at the normal operating speed and load or capacity for the machinery in question. When the normal operating speed, load or capacity covers a range of conditions, measurements should be carried out at a condition corresponding to at least 90 % of the maximum.

**303** A test program shall be approved by the Society prior to execution of the measurements. The test program shall at least contain:

- a description of the intended measuring locations
- required operating conditions
- instrumentation to be used.

**304** The instrumentation to be used for the measurements is to be of an electronic type. The signal may be stored on tape, analysed directly by means of an FFT-analyser or by means of PC based equipment.

**305** The following analysis parameters should be used:

- frequency range 1 Hz to the upper frequency specified for an item
- at least 400 spectral lines
- window function which gives an accurate estimate of the amplitude values of the single peaks in the frequency spectra (e.g. “flat-top” window)
- the data is to be averaged over a time period of approximately one minute.

**306** The report shall at least contain the following information:

- description of measuring positions
- actual operating conditions during the test
- instrumentation used during the measurements
- frequency plots of the vibration levels in the required frequency range.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blora pada tanggal 06 Februari 1993. Terlahir dengan nama Riskha Ariskha Arisandhi, merupakan anak kedua dari pasangan Suparman dan Sudarmini. Penulis telah menempuh pendidikan formal yakni di SDN 1 Kedungwungu, SMPN 1 Kunduran, SMAN 1 Ngawen, Kabupaten Blora. Setelah lulus dari SMA tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan formalnya ke jenjang Diploma III Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya-ITS jurusan Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, dan terakhir penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui program lintas jalur pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 4213106004. Penulis mengambil konsentrasi bidang keahlian Marine Manufacturing & Desain (MMD) untuk penulisan tugas akhir sebagai syarat memperoleh gelar sarjana.

Riskha Ariskha Arisandhi  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - FTK - ITS  
[riskhaariskha06@gmail.com](mailto:riskhaariskha06@gmail.com)